

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E AMBIENTE



Análise dos efeitos das variáveis independentes nos consumos energéticos para aplicações em modelos ESCO

Mauro André Leonardo de Medeiros e Melo

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Dissertação orientada por:
Prof. Doutora Marta João Nunes Oliveira Panão

2017

Resumo

Um dos grandes desafios na aplicação de um contrato de desempenho energético consiste em prever quanto se vai poupar na energia consumida, uma vez que esta poupança resulta da ausência de consumo de energia. Para tentar prever essa energia utiliza-se o Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético (IPMVP em inglês), onde estão descritos vários métodos para medir e verificar se as medidas de poupança energética estão a ser eficazes.

Este trabalho tem como objetivo analisar qual o efeito das variáveis independentes no consumo de energia, utilizando dados de faturas energéticas de um edifício de serviços e seguindo o método descrito no IPMVP.

Este estudo iniciou-se com uma análise da situação das Empresas de Serviços Energéticos em Portugal e Europa, de seguida uma breve descrição dos conceitos utilizados na medição e verificação, e no final, a aplicação a um caso de estudo. Foi escolhido um edifício de grandes consumos energéticos, um hotel, e a partir dos dados obtidos das faturas energéticas de dois anos consecutivos, foi feito um perfil energético, calculando o *baseline*. De seguida foi feito o ajuste apenas à atualização das tarifas da energia, e depois, a correlação entre as duas variáveis em estudo e os consumos energéticos.

As tarifas dos dois anos estudados mostraram uma queda nos preços, principalmente nos combustíveis fósseis, traduzindo-se numa descida no valor final nas faturas energéticas. Na correlação das variáveis, enquanto que seria de esperar que as variáveis independentes, como taxa de ocupação e clima, alterassem significativamente o consumo de energia, os resultados não apontam uma relação evidente, concluindo-se que as faturas energéticas não são detalhadas o suficiente para serem utilizadas com este método de análise.

Palavras chave: Eficiência Energética, Consumo energético, ESE, IPMVP, Medição e Verificação.

Abstract

One of the main challenges in applying an energy performance contract is to predict the amount of energy that could be saved, since this savings result from the absence of energy consumption. To predict this saved energy, the International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP) is used, in which several methods are described to measure and verify if energy saving measures are being effective.

The main objective was to analyze the effect of independent variables, such as occupation rate and climate on energy consumption, using data from energy invoices from a services building following the method described in IPMVP.

First, this study reviewed the situation of Energy Services Companies in Portugal and Europe, followed by a brief description of concepts used in the measurement and verification processes, and finally, the application to a case study. A hotel was chosen as a case study since it was a building with high energy consumption. From the data obtained by energetic invoices of two consecutive years, an energy profile was performed, calculating the baseline value. Subsequently, it was made the adjustment only to the updating of energy tariffs. Finally, a correlation was performed between the two variables in study and the energy consumption.

The studied energy tariffs from the two consecutive years, showed a decrease in energy prices/rates, especially regarding fossil fuels, which translated in a general price decrease in energy invoice. Regarding the correlation performed, while it would be expected that the independent variables, such as occupation rate and climate, would have a significant effect in energy consumption, the results did not reveal an evident relation between them, suggesting that energy bills are not detailed enough to be used with this method of analysis.

Key-words: Energy efficiency, Energy consumption, ESCO, IPMVP, Measurement and Verification.

Índice

1.	Introdução	1
1.1.	Enquadramento.....	1
1.2.	Objetivos	7
1.3.	Estrutura do trabalho	7
2.	ESE - Estado da Arte.....	9
2.1.	Uma breve história	9
2.2.	ESE - O que são?.....	9
2.3.	Serviços prestados pelas ESE.....	9
2.4.	Panorama em Portugal	11
3.	Modelos ESCO.....	13
3.1.	Contratos de Desempenho Energético	13
3.2.	Custo da energia nos anos de referência - <i>Baseline</i>	14
3.3.	Modelos Financeiros	14
3.4.	Estimativa das economias	14
4.	IPMVP - O que é?	17
4.1.	Objetivos do plano M&V	17
4.2.	Períodos de medição.....	18
4.3.	Fronteiras de medição	19
4.4.	Ajustes.....	19
4.5.	Variáveis independentes.....	19
4.6.	Visão Geral das Opções do IPMVP	23
5.	Metodologia	25
5.1.	Análise da Fatura Energética.....	25
5.2.	Cálculo do <i>Baseline</i>	25
5.3.	Análise de Regressão Linear	25
5.3.1.	Coeficiente de Determinação (R^2).....	26
5.3.2.	Coeficiente de variação do erro padrão da estimativa (CV(RMSE))	26
5.3.3.	Estatística- <i>t</i>	26
6.	Resultados	29
6.1.	Análise da Fatura Energética.....	29
6.2.	Cálculo do <i>Baseline</i>	30
6.3.	Ajuste Tarifário	32
6.3.1.	Electricidade.....	32
6.3.2.	Gás.....	33

6.4.	Análise de Regressão Linear	35
6.4.1.	Eletricidade.....	35
6.4.2.	Gás.....	37
6.5.	Cenário 1	39
6.6.	Cenário 2	41
6.7.	Cenário 3	43
7.	Discussão e Conclusões	45
8.	Referências	47

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Emissões de Gases com Efeito de Estufa UE-28 ^[1]	2
Figura 1.2 - Emissões de gases poluentes por atividade económica ^[1]	2
Figura 1.3 - Produção de energia elétrica através das várias fontes (renováveis e não renováveis) desde 1990 ^[1]	3
Figura 1.4 - Contribuição da Produção de Energia Elétrica ^[1]	3
Figura 1.5 - Objetivos a alcançar pela EU em 2020.....	4
Figura 1.6 - Principais Consumidores de Energia Final por setor de atividade ^[1]	5
Figura 2.1 - Metodologia seguida por uma ESE.	10
Figura 3.1 - Fases de intervenção de uma ESE na fatura energética.....	13
Figura 4.1 - Evolução do consumo de energia antes e depois da implementação de medidas de racionalização de energia ¹³	18
Figura 4.2 - Tarifa de acesso às redes publicados anualmente pela ERSE ^[14]	21
Figura 4.3 - Evolução do Preço dos Combustíveis ^[1]	22
Figura 5.1- Tabela-t. ^[13]	27
Figura 6.1 - Consumo elétrico dos dois anos de referência do Hotel X.....	29
Figura 6.2 - Consumo de gás nos dois anos de referência no Hotel X em estudo.....	29
Figura 6.3 - Distribuição do custo de energia consumida dividida por tipo de combustível.	31
Figura 6.4 - Representação gráfica dos preços de energia ativa das faturas nos anos de referência a) no primeiro e quarto trimestre do ano b) no segundo e terceiro trimestre do ano.....	32
Figura 6.5 - Tarifas Gás Propano referentes aos anos de 2013 e 2014.	33
Figura 6.6 - Eletricidade, CDD e Ocupação.....	36
Figura 6.7 - Gás, HDD e Ocupação.	38

Lista de Tabelas

Tabela 1.1 - Objetivos específicos a alcançar por Portugal até 2020.	5
Tabela 6.1 - Valores de consumo de eletricidade e gás dos dois anos de referência e respetivos valores de consumo médio.	30
Tabela 6.2 - Valores do custo específico, resultante da multiplicação do consumo do ano de 2013 com o custo de 2013.	30
Tabela 6.3 - Cálculo do custo de referência, a partir da multiplicação do custo específico calculado anteriormente com a média do consumo dos dois anos de referência.	31
Tabela 6.4 - Preço da energia ativa das faturas nos anos de referência.	32
Tabela 6.5 - Variação do preço do gás de 2013 para 2014.	33
Tabela 6.6 - Tabela dos resultados da análise de regressão linear entre o consumo elétrico e os graus-dia de arrefecimento.	35
Tabela 6.7 - Tabela dos resultados da análise de regressão linear entre o consumo elétrico e a taxa de ocupação.	35
Tabela 6.8 - Tabela dos resultados da análise de regressão linear entre o consumo elétrico e os graus-dia de arrefecimento e taxa de ocupação.	36
Tabela 6.9 - Tabela dos resultados da análise de regressão linear entre o consumo de gás e os graus-dia de aquecimento.	37
Tabela 6.10 - Tabela dos resultados da análise de regressão linear entre o consumo de gás e taxa de ocupação.	37
Tabela 6.11 - Tabela dos resultados da análise de regressão linear entre o consumo de gás e os graus-dia de aquecimento e ocupação.	38
Tabela 6.12 - Tabela da previsão do consumo elétrico do Cenário 1.	39
Tabela 6.13 - Tabela da previsão do consumo elétrico do Cenário 2.	41
Tabela 6.14 - Tabela de previsão de consumo elétrico do Cenário 3.	43

Abreviaturas

AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
CDD	Cooling Degree Days
CV (RMSE)	Coefficient of variation of the root mean square error
ENE 2020	Estratégia Nacional para a Energia 2020
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
ESCO	Energy Service Company
ESE	Empresa de Serviços Energéticos
EU-28	União Europeia 28
EUA	Estados Unidos da América
HDD	Heating Degree Days
IPMVP	International Performance Measurement and Verification Protocol
IVA	Imposto de Valor Acrescentado
LULUCF	Land Use, Land Use Change and Forestry
M&V	Medição e Verificação
MRE	Medidas de Racionalização da Energia
MT	Média Tensão
RAM	Região Autónoma da Madeira

1. Introdução

1.1. Enquadramento

A preocupação ambiental tem sido crescente nos últimos anos devido ao interesse em investigar os efeitos que as alterações climáticas e a qualidade do ar têm no planeta Terra. Deste modo, a produção e a utilização de fontes energéticas, além de terem vindo a aumentar, são objeto de estudo e discussão à escala mundial.

A eficiência energética, juntamente com as energias renováveis, surge em resposta à crescente poluição no intuito de aumentar o processo de descarbonização na produção e utilização da energia, contribuindo assim para um futuro mais sustentável, assumindo assim um papel crucial na evolução da indústria energética, uma vez que tem sido uma aposta de muitas empresas devido à sua influência económica e ambiental.

A necessidade de preços competitivos para a energia, e os impactos negativos no ambiente devido à crescente procura de energia e aumento no consumo energético, são as duas maiores ameaças no panorama energético mundial.

Desde 1995 até 2011, houve um crescente aumento da população mundial, na ordem dos 21%. Em 2011, a população mundial atingiu 6974 milhões de habitantes, sendo a China o país mais populoso, com 19% da população mundial. A Europa conta com 507 milhões de habitantes, os Estados Unidos com 312 milhões, seguidos pela Rússia que tem 143 milhões e o Japão, com 128 milhões ^[1,2].

Em relação a questões ambientais, os gases de efeito de estufa e partículas poluentes, são uma das principais ameaças nos países mais desenvolvidos. Nos 28 países membros da UE, as emissões de gases com efeito de estufa atingiram o valor de 4678.8 milhões de toneladas equivalentes de CO₂, no ano de 2012 (**Figura 1.1**). Em 1990, desde que se iniciou o registo destas emissões, houve um decréscimo de 17,9% das mesmas, o que equivale a cerca de 1017 milhões de toneladas equivalentes de CO₂ não emitidas para a atmosfera. Este valor inclui a aviação internacional, mas exclui as atividades LULUCF (do Inglês Land Use, Land Use Change and Forestry, que significa uso da terra, mudança no uso da terra e florestas). Sem estes valores da aviação internacional, esta redução chegaria aos 19,2% comparativamente aos níveis iniciais de 1990.

Analisando o gráfico (**Figura 1.1**), podemos observar que de 1990, onde as emissões de gases com efeito de estufa EU-28 foram de aproximadamente 5,63 milhares de milhões de toneladas equivalentes de CO₂, até 1994, houve um decréscimo acentuado para os 5,2 milhares de milhões de toneladas. Entre 1994 e 1996 verifica-se um aumento das emissões de gases, sendo que em 1996 se verificou um pico nessas emissões de gases. De 1996 até 2008, verificaram-se algumas oscilações sendo que no ano de 2008 iniciou-se um decréscimo nas emissões de gases onde se verificou a maior queda no ano de 2009. Em 2010 houve um ligeiro aumento, seguido de mais uma redução no ano seguinte, e que continuou em 2012, em que foi registado o valor mais baixo de emissões de sempre. Posto isto, é possível dizer que o pico do ano de 1996 se deveu a um inverno rigoroso em que houve necessidade de aumentar o aquecimento e que a queda do ano 2009 se refletiu devido à crise económica e consequente redução da atividade industrial. Dentro da Europa, em 2012, a Alemanha foi o país que mais contribuiu para estes valores (20,62% ou 946,6 milhões de toneladas equivalentes de CO₂), seguido por Reino Unido (13,10%), França (10,82%) e Itália (10,03%), sendo estes países os únicos com valores acima de 10%. Em 2012, os países que registaram maiores quedas nas emissões desde 1990, foram a Letónia (-57,1%), Lituânia (-55,6%), Estónia (-52,6%) e Roménia (-52%). Em sentido inverso, os maiores aumentos verificaram-se em Malta (+56,9%) e Chipre (+47,7%) devido ao desenvolvimento económico ^[1].

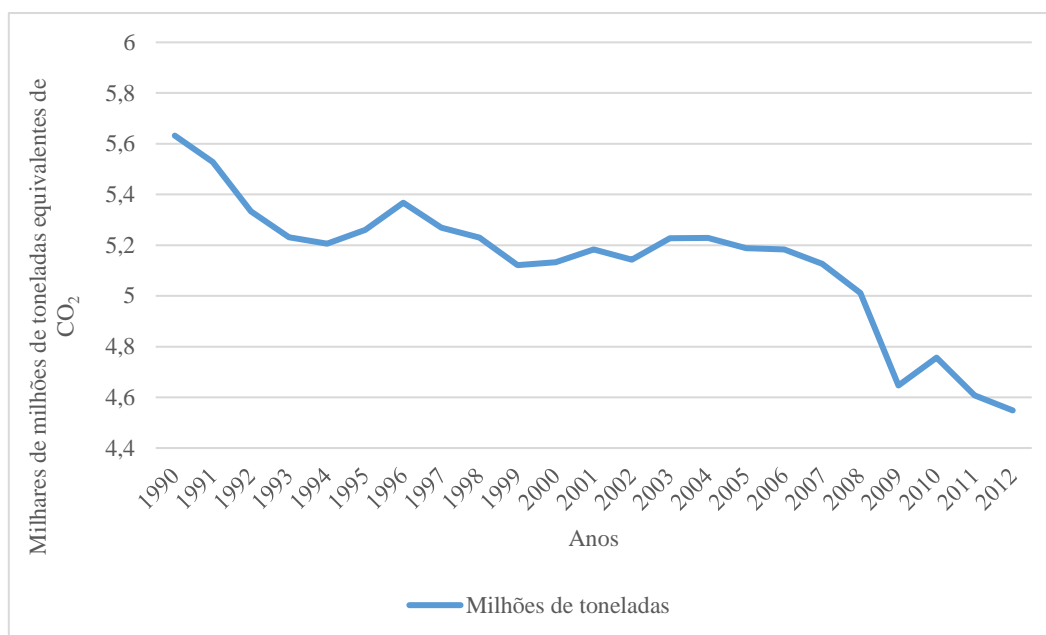


Figura 1.1 - Emissões de Gases com Efeito de Estufa UE-28 ^[1].

Analisando o gráfico circular sobre as emissões de gases com efeito de estufa por atividade económica (**Figura 1.2**), é possível observar que o sector da eletricidade, gás, vapor e ar condicionado (27%), é o que mais contribui para emissões de gases poluentes, seguido do sector da produção industrial, com 20%. No extremo oposto, encontra-se a Indústria mineira, com 1% de contribuição de emissões de gases.

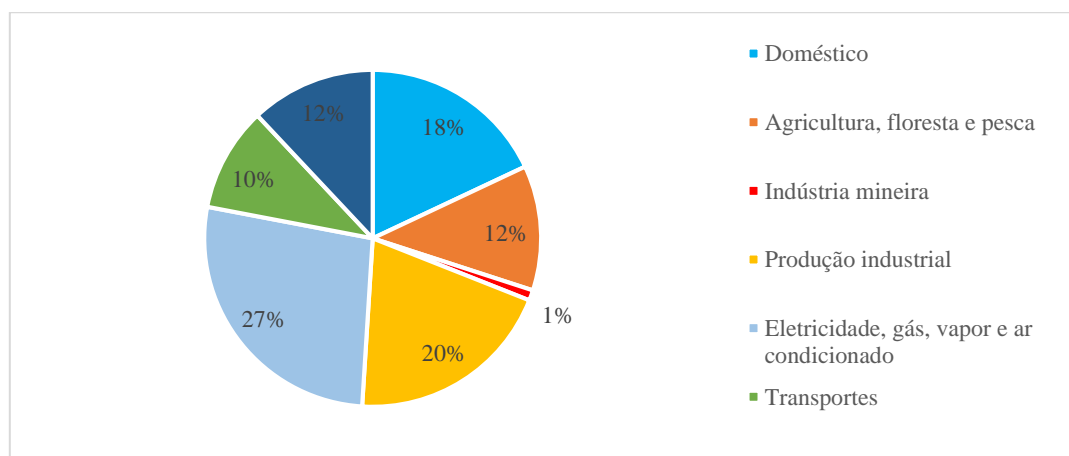


Figura 1.2 - Emissões de gases poluentes por atividade económica ^[1].

A produção de energia primária na Europa teve um decréscimo de 1% no ano de 2012, comparativamente a 2011, em que o que a maior diminuição foi nos produtos petrolíferos (10%) e em seguida a produção de gás natural (6%). Por outro lado, a produção de energia a partir de fontes renováveis subiu 9% (**Figura 1.3**) ^[1].

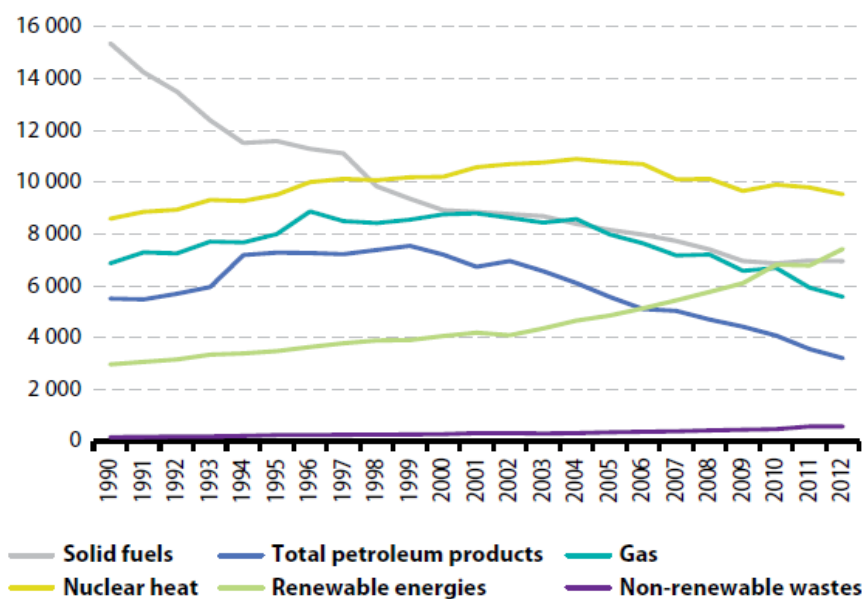


Figura 1.3 - Produção de energia elétrica através das várias fontes (renováveis e não renováveis) desde 1990 ^[1].

Em 2012, a energia elétrica foi produzida a partir das fontes apresentadas na **Figura 1.4**:

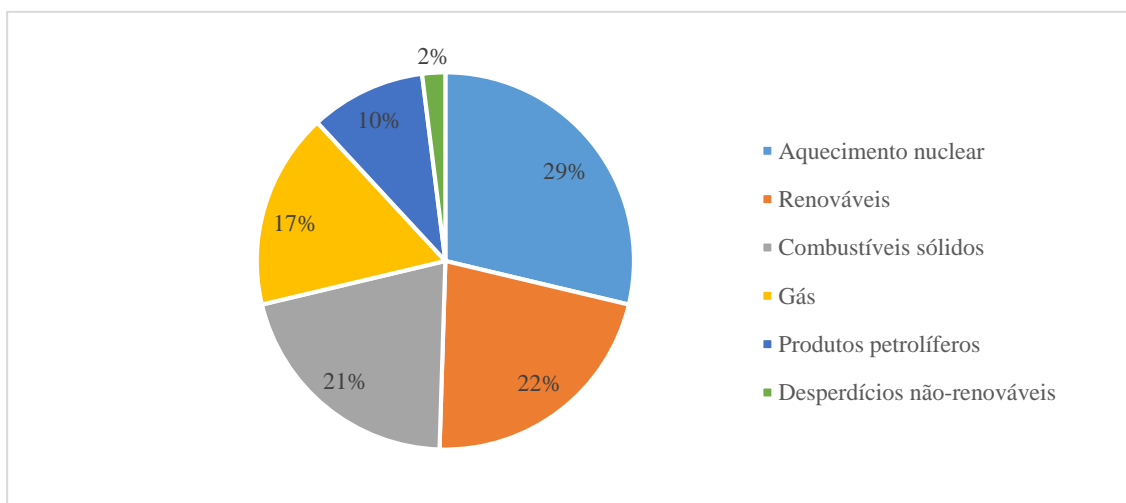


Figura 1.4 - Contribuição da Produção de Energia Elétrica ^[1].

Atualmente estima-se que, em 2030, haverá um aumento na procura de energia de cerca de 35%. Para fazer face a esta necessidade, a eficiência energética surge como uma resposta para uma melhor utilização da energia, juntamente com a aposta nas energias renováveis. A boa gestão energética permite economizar energia, ajudando a reduzir o consumo.

Os programas de eficiência energética contribuem para a redução da poluição ambiental e das emissões de carbono, para além de melhorarem a segurança e qualidade energética. Nas empresas e organizações, destaca-se ainda a questão económica, pois permite uma grande redução dos

custos com a energia. No sentido de estimular a eficiência energética, a Comissão Europeia tem vindo a trabalhar em algumas medidas e metas energéticas para os Estados-Membros melhorarem o seu desempenho energético.

Este conjunto de medidas fazem parte da Estratégia Europa 2020, na área da energia e alterações climáticas, tendo metas definidas para serem cumpridas até ao ano de 2020 (**Figura 1.5**) ^[3]:

- Redução das emissões dos gases com efeito de estufa em 20% do nível atingido em 1990;
- 20% da energia do consumo global tem de ser proveniente de fontes renováveis;
- Redução de 20% do consumo energético através da eficiência energética.

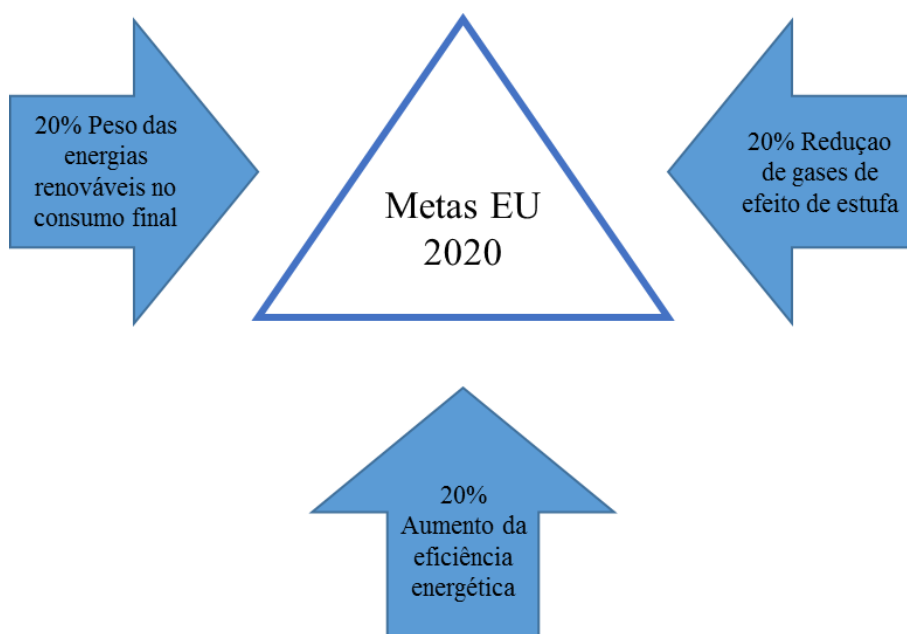


Figura 1.5 - Objetivos a alcançar pela EU em 2020.

A nível nacional, estas metas foram um pouco mais ambiciosas do que a nível Europeu (**Tabela 1.1**), uma vez que alguns objetivos já foram cumpridos e outros estão quase a ser alcançados, sobretudo na área das energias renováveis, pois Portugal tem grandes avanços nessa área ^[4].

A nível da eficiência energética contam-se algumas medidas como o programa Eco.AP, centrado na redução de consumos na Administração Pública e o Plano Nacional de Ação de Eficiência Energética, um documento com guias e objetivos para melhorar a eficiência nos vários sectores do país. Estas medidas fazem parte de um documento principal, a Estratégia Nacional para a Energia (ENE2020).

Tabela 1.1 - Objetivos específicos a alcançar por Portugal até 2020.

Objetivos	Como fazer?
Redução da dependência energética de Portugal em relação ao exterior	Diminuir a importação de energia de 83% em 2008 para 74% em 2020, o equivalente a uma poupança de 95 milhões barris de petróleo.
Cumprir os compromissos assumidos pelo país para 2020	31% do consumo de energia final tem que ser proveniente de fontes de energia renovável; redução de 20% do consumo de energia final.
Redução da importação energética através da produção energética a partir de fontes endógenas	Redução de 25% da importação energética face a 2008.
Consolidar a aposta nas energias renováveis	Criar mais 100 000 novos postos de trabalho; e assegurar um Valor Acrescentado Bruto de 3800 milhões € em 2020.
Desenvolvimento dos setores associados à promoção da eficiência energética	Assegurar a criação de 21 000 novos postos de trabalho; gerar investimento de 13 000 milhões € até 2020.
Promover o desenvolvimento sustentável	Criar condições para o cumprimento das metas de redução de emissões assumidas por Portugal.

Para descobrir qual o real valor do potencial de redução de consumo energético da eficiência energética, é importante considerar o contributo dos diversos setores consumidores de energia, nomeadamente os transportes, serviços e indústria (**Figura 1.6**). No setor dos transportes, são utilizados maioritariamente combustíveis líquidos, como a gasolina e o gasóleo, sendo este sector o principal consumidor de energia final (36%).

Na indústria, setor que consome cerca de 31% de energia, são utilizados o gás e eletricidade, assim como no setor doméstico (17%) e nos serviços (12%) ^[5].

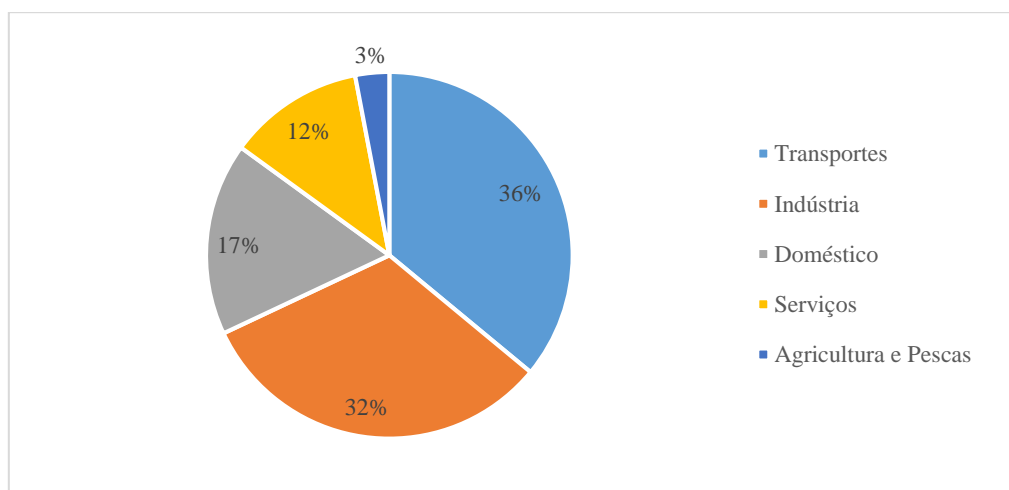


Figura 1.6 - Principais Consumidores de Energia Final por setor de atividade ^[1].

1.2. Objetivos

O presente estudo tem como principal objetivo aumentar a eficácia de previsão de consumos energéticos, para que as Empresas de Serviços Energéticos consigam dar dois tipos de previsão do consumo energético de uma determinada instalação: primeiro sem nenhuma medida de eficiência aplicada, e depois com medidas aplicadas, sabendo assim qual o correto potencial de poupança.

O segundo objetivo será utilizar a opção C do Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Desempenho Energético (IPMVP), para saber qual o peso das variáveis independentes no consumo energético. Este trabalho poderá assim contribuir para as empresas de serviços energéticos ganharem notoriedade e seriedade, junto da população portuguesa.

1.3. Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em 7 partes, começando na introdução, com o enquadramento, onde é feito uma breve descrição do cenário energético e ambiental, a nível europeu e mundial e seus desafios e problemas. De seguida, temos um capítulo do estado de arte das ESE, onde é feito uma explicação sobre a sua origem, qual a sua função, e o seu estado atual na Europa e Portugal.

No capítulo seguinte, é explicado o modelo de negócio das empresas de serviços energéticos, assim como as suas terminologias e finalidades.

No capítulo 4, é introduzido o IPMVP em detalhe, e explicado para que serve e como é utilizado. O método de Medição e Verificação também é apresentado.

No capítulo 5, está descrito a metodologia que foi utilizada para alcançar os objetivos propostos. Em primeiro lugar, a análise das faturas e cálculo do *baseline* são descritos. Em seguida é explicado o método de cálculo da regressão linear e respetivos coeficientes utilizados.

No capítulo 6 são apresentados os resultados deste trabalho, nomeadamente o valor do *baseline* e os coeficientes calculados pelo método de regressão linear, divididos por fonte de energia, eletricidade e gás. Posteriormente são apresentados 3 cenários, com aumento e diminuição das variáveis independentes de acordo com os coeficientes calculados.

No último capítulo é feito uma apreciação dos resultados obtidos, com base nos objetivos propostos, integrando os três cenários elaborados posteriormente. O presente trabalho termina com ideias para melhorias no futuro.

2. ESE - Estado da Arte

2.1. Uma breve história

As Empresas de Serviços Energéticos (ESE) existem já há algumas décadas, tendo começado pelos Estados Unidos, na década de 70, onde houve uma grave crise energética. Nessa altura percebeu-se que uma possível solução para essa crise, seria tentar poupar alguma energia. Foi assim que surgiu a ideia das ESE, em que uma empresa financia e instala um sistema energeticamente mais eficiente, e vai recebendo uma percentagem das economias geradas por esse sistema. Esta ideia teve algum sucesso durante esse período de crise, mas nos anos seguintes, perdeu fulgor e o seu crescimento foi mais lento, pois com o custo da energia a descer, o interesse em poupar energia baixou.

Na década de 90, com o aumento do preço da energia e aparecimento de tecnologias mais eficientes, as ESE ganharam novo alento, e começaram a crescer, consolidando o seu espaço na década seguinte, principalmente nos EUA.

Atualmente, já existem muitos países Europeus a utilizar este sistema há alguns anos, e a eficiência energética tem vindo a tornar-se muito importante, não só devido à grave crise financeira que a Europa atravessa, mas também pela crescente preocupação ambiental que existe a nível mundial.

Durante vários anos, estas empresas enfrentaram muitas dificuldades, pela falta de informação e apoios, mas hoje em dia são vistas como uma parte importante para o mercado energético a nível global ^[6,7].

2.2. ESE - O que são?

A definição de ESE é um tema que tem vindo a ser discutido há algum tempo, pois não existe uma definição clara e simples, e que seja globalmente aceite. A falta de uma identidade padrão é apontada como uma das barreiras que dificultam o crescimento destas mesmas empresas. A sigla ESE vem de Empresa de Serviços Energéticos (ou ESCO, do inglês Energy Services Company), e os objetivos destas empresas são: elaborar projetos de sistemas energéticos, proceder à sua instalação e manutenção, e por vezes, também o seu financiamento. Diferem das empresas que produzem e fornecem energia, pois centram-se no desempenho energético, ou seja, a forma como a energia é utilizada, tentando atingir melhores níveis de eficiência. As ESE também juntam serviços de manutenção de sistemas, oferecendo um maior acompanhamento ao seu desempenho energético, sendo um aspeto importante para os clientes. Outra diferença em relação a outras empresas do setor energético é a capacidade de financiar ou conseguir financiamento na implementação de projetos de eficiência energética.

As várias atividades de uma ESE passam por projetar e aplicar sistemas e/ou medidas que permitam diminuir o consumo de energia num edifício. Essas medidas são aplicadas e financiadas (totalmente ou parcialmente) pela ESE, ficando assim com a responsabilidade de verificar se as economias correspondem ao que estava previsto. Estas empresas serão então remuneradas com as economias geradas pelas alterações efetuadas ^[6,7].

2.3. Serviços prestados pelas ESE

Estes serviços são auditorias energéticas e estudos de viabilidade a nível de engenharia, instalação de equipamentos, gestão da energia, gestão das instalações e serviços de água, qualidade do ar interior, medição e verificação das economias geradas, entre outros. Na auditoria energética faz-se uma análise aos sistemas que utilizam energia e determina-se que melhorias podem ser realizadas para tornar os sistemas energeticamente mais eficientes.

Existem empresas que se especializam em determinadas tecnologias, e apenas realizam auditorias aplicadas a essas mesmas áreas, como a iluminação ou sistemas de ventilação, por exemplo. No entanto, uma auditoria completa analisa todos os sistemas que consomem energia, ou seja, iluminação, sistemas AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado), águas quentes sanitárias, equipamentos de escritório, máquinas industriais, e, até mesmo, sistemas que produzam energia, como sistemas de energias renováveis. Normalmente estas auditorias são feitas na elaboração de contratos de desempenho energético e são estudos complexos e detalhados sobre a performance económica e o valor do investimento do projeto. Os serviços de gestão da construção podem também ficar a cargo da ESE, que após desenhar e desenvolver o projeto, pode gerir a seleção dos construtores e técnicos, supervisionando a instalação do projeto. O financiamento do projeto pode vir do próprio cliente, mesmo existindo a contratação de uma ESE. No entanto, algumas ESE têm a capacidade de financiar os projetos ^[8].

As alterações efetuadas pelas ESE, tanto podem passar pela implementação de medidas de eficiência energética, como por exemplo a substituição de equipamentos mais velhos por outros mais modernos e eficientes, ou então, pela introdução de sistemas de energias renováveis, que permitem produzir energia e assim, descontar na fatura energética, contribuindo para os ganhos da ESE e cliente (**Figura 2.1**).

Quando comparado com a instalação de sistemas produtores de energia, as medidas de eficiência energética são a forma mais económica de poupar energia e constituem o modelo base em que estas empresas funcionam.



Figura 2.1 - Metodologia seguida por uma ESE ^[8].

2.4. Panorama em Portugal

Em Portugal, ainda existem poucas empresas que prestam este tipo de serviços, estimando-se que atualmente existam cerca de 15 ESE. Nos últimos 5 anos tem havido um crescimento, embora lento, mas que se tem mantido devido às recentes apostas na área da eficiência energética. Estas empresas atuam principalmente nos consumidores intensivos de energia.

A atividade das ESE no país está mais focada na geração de energia, através das energias renováveis, do que no consumo final de energia, pois existem incentivos mais atrativos ^[7,9].

3. Modelos ESCO

Neste capítulo é descrito o modelo de negócio ESCO, assim apelidado devido ao tipo de empresa que o utiliza. Este modelo implica a ideia principal do investimento inicial ser pago pelas poupanças de energia ao longo de um período de tempo. Para este tipo de negócio, existem vários conceitos e formas diferentes de o implementar, assim como metodologias e intervenientes (Figura 3.1).

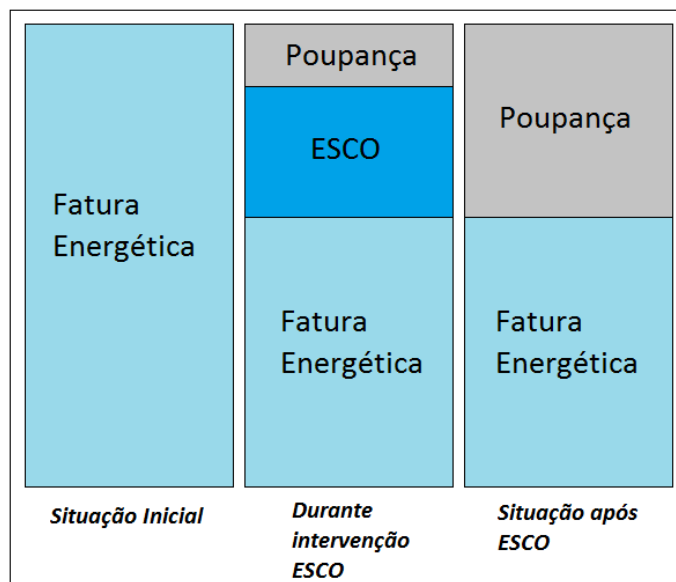


Figura 3.1 - Fases de intervenção de uma ESE na fatura energética ^[8].

3.1. Contratos de Desempenho Energético

Ao contrário das empresas de venda de energia, que lucram com o consumo de energia, neste tipo de negócio, em que a ESE financia o projeto de eficiência energética, o retorno desse investimento será feito a partir das economias geradas a partir desse sistema. Contudo, este modelo levanta algumas questões, tais como: como quantificar essas economias, sendo que esse valor será uma ausência de energia consumida? Quais esses valores? Quanto tempo é necessário até conseguir o retorno do investimento? Para responder a essas questões, existe o contrato de desempenho energético, no qual fica acordado os termos importantes, ou seja, a quantidade de energia que está previsto o sistema poupar, durante quanto tempo vai operar e outros aspetos essenciais, como a percentagem de poupanças que vai para a ESE e para o cliente. Este contrato resulta do equilíbrio entre duas partes: a do cliente, em que haverá uma gestão de energia e serão aplicadas medidas para otimizar os consumos de energia, e consequentemente levar a uma redução dos custos na fatura energética; a parte da ESE, que tem como objetivo lucrar com o projeto e garantir que o cliente fica satisfeito com o serviço prestado.

Este contrato surge para superar dificuldades na implementação de eficiência energética, como os riscos da performance do projeto ou o seu financiamento, apresentando características como:

- Um contrato é efetuado apenas por uma entidade, e apresenta um conjunto de serviços tais como desenvolvimento, instalação, operação e manutenção dos equipamentos, assegurando assim a melhor performance do sistema;
- Inclui o financiamento do projeto completo, que costuma ser suportado integralmente pela ESE ou em conjunto com o cliente, ou ainda por uma terceira parte;

- Como a remuneração da ESE depende da economia gerada, quanto maior for a economia gerada ao cliente, maior será o ganho financeiro da ESE. Geralmente, as economias produzidas excedem o custo de implementação do projeto ^[10,11].

3.2. Custo da energia nos anos de referência - *Baseline*

Um dos primeiros parâmetros a ser calculado para ser incluído no contrato de desempenho energético, é a *baseline*, ou seja, a definição do custo com a energia dos anos de referência, tendo em conta a variação anual do preço de energia.

O cálculo da *baseline* não pode ser feito simplesmente como uma média dos anos anteriores, é exigido mais atenção para haver uma ideia mais precisa. Existem vários métodos, neste estudo optou-se por um método simplificado que consiste em três passos ^[12,13]:

- Média de consumo mensal de energia dos anos de referência, separados por fonte de energia;
- Custo específico mensal de energia do último ano de referência, para as várias fontes de energia, analisando as faturas energéticas, e sem aplicar o IVA;
- Cálculo dos custos mensais de energia baseado nos pontos anteriores.

3.3. Modelos Financeiros

As ESE apresentam normalmente três tipos de modelos financeiros, *Shared Savings*, *Guaranteed Savings* e o Contrato de Termo Variável. O primeiro apresenta uma solução em que o financiamento total do projeto é feito pela ESE, sendo acordado uma distribuição pelo cliente e pela ESE, dos ganhos posteriores com as poupanças geradas. Esta distribuição faz-se através de um contrato de desempenho energético, em que ficam acordados quais as poupanças geradas no futuro. A ESE fica assim com a obrigação de pagar ao credor e os equipamentos pertencem à ESE até final do contrato. Neste modelo, a ESE assume dois riscos, primeiro tem que garantir o desempenho do projeto e depois, fica com o risco do crédito do cliente, pois independentemente de o cliente pagar ou não, a ESE tem que assegurar o pagamento da dívida ao credor.

No modelo *Guaranteed Savings*, o cliente financia o projeto, recorrendo a um empréstimo de outra instituição financeira, por exemplo, ficando a ESE responsável pela parte técnica do projeto. Se as economias forem inferiores ao que estava estabelecido, a ESE pagará essa diferença, mas se forem superiores, o cliente e a ESE poderão partilhar essa diferença, dependendo da extensão dos serviços prestados. A ESE fica com a responsabilidade apenas de garantir ao cliente a rentabilidade do projeto.

Nos Contratos de Termo Variável, a ESE realiza o projeto, financia e instala. Depois da verificação das economias geradas, se não forem aquelas que estavam previstas no contrato, o contrato pode ser modificado, para que a empresa consiga recuperar o seu investimento ^[11,13].

3.4. Estimativa das economias

A determinação das economias geradas a partir das medidas de eficiência energética instaladas é um dos processos mais importante, pois é o que vai determinar quanto é que o cliente vai poupar, e quanto é que a ESE vai lucrar.

A economia de energia é uma estimativa, pois não é possível medir uma ausência de consumo, apenas prever qual seria esse consumo sem a implementação de nenhuma medida. A diferença entre essa previsão e o consumo de energia atual com as medidas implementadas, será utilizada para calcular a economia, que será incluída no Contrato de Desempenho Energético. Estas estimativas estão sempre sujeitas a alterações da *baseline*, pelo que o cálculo das economias deve ser ajustado periodicamente. Qualquer variação nas condições iniciais da *baseline* tem que ser

ajustado periodicamente, de modo a que a previsão das economias seja o mais precisa possível. Estes ajustes têm o objetivo de identificar quais as alterações no consumo de energia que são devido à implementação das medidas e quais as que ocorreram devido a condições que a ESE não controla. Estes ajustes são imprescindíveis na medida em que um edifício pode precisar de alterar as condições que influenciam o consumo de energia. Como exemplo, se um edifício industrial a meio do período de contrato aumentar o nível de produção, vai aumentar o consumo de energia, ou seja, depois de implementadas as medidas de eficiência energética, vai existir um período em que aumentará o consumo de energia, contrariamente ao desejável, alterando as economias esperadas. Mas, com o ajuste efetuado, teremos uma estimativa do consumo sem as medidas de eficiência, concluindo que existem economias geradas, mesmo com o aumento de produção. Este cálculo permite oferecer uma maior garantia ao cliente que existe efetivamente economia de energia, e também à ESE. Sem estes ajustes, recorrendo apenas ao *baseline* inicial, teríamos um valor incorreto das economias produzidas ^[10,11,13].

4. IPMVP - O que é?

O Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético (IPMVP, do inglês, *International Performance Measurement and Verification Protocol*), é um documento que orienta os profissionais na área da eficiência energética, procurando definir conceitos e termos, sugerindo boas práticas de modo a obter melhores resultados nas análises energéticas. O objetivo principal de um plano M&V (Medição e Verificação) é quantificar as economias de energia geradas pela implementação dos sistemas de racionalização energética. Assim, o plano M&V é de grande importância para as ESE, pois estas empresas têm nas poupanças geradas o seu meio de sustento ^[13].

4.1. Objetivos do plano M&V

A eficiência energética consiste em rentabilizar ao máximo, sistemas energéticos para que consigam produzir o mesmo, mas consumindo menos energia. O plano M&V tem assim como objetivo definir quais os valores de energia que não serão consumidos com a implementação de medidas de racionalização de energia. Este plano possui duas fases distintas, na primeira fase é medido e calculado o potencial de economia, e depois de instalados os sistemas de eficiência, na segunda fase vem a verificação das economias geradas por esses mesmos sistemas implementados.

Na primeira fase, será apresentada uma proposta do projeto a implementar, baseada na análise inicial do desempenho energético, que inclui uma estimativa do período de referência de consumos energéticos. Mais especificamente, nesta fase serão determinados os seguintes parâmetros: consumo de energia, através de contadores e análise de faturas; taxas de ocupação; caracterização dos diferentes tipos de consumidores de energia (iluminação, motores, aquecimento, etc.); horários de funcionamento e condições da instalação.

Na segunda fase, será feita a verificação das economias geradas pelas medidas implementadas, de acordo com o contrato de desempenho energético. Aqui serão descritos todos os métodos utilizados para o controlo dos ganhos, como plano de recolha de dados e medições a efetuar, duração das monitorizações, e características sobre as mesmas.

Para as ESE, a fiabilidade e segurança nestes planos adquirem uma grande importância, pois é a partir dos valores estimados do potencial de economia que a empresa decide ou não avançar num projeto. Para além disso, se durante a verificação, a estimativa estiver errada, a empresa poderá receber menos do que o previsto, ou mesmo ter prejuízo com o projeto. No entanto, quanto mais preciso for o plano, mais custos serão associados ao projeto. Assim, existe o desafio de equilibrar esses custos com o grau de precisão do plano (**Figura 4.1**).

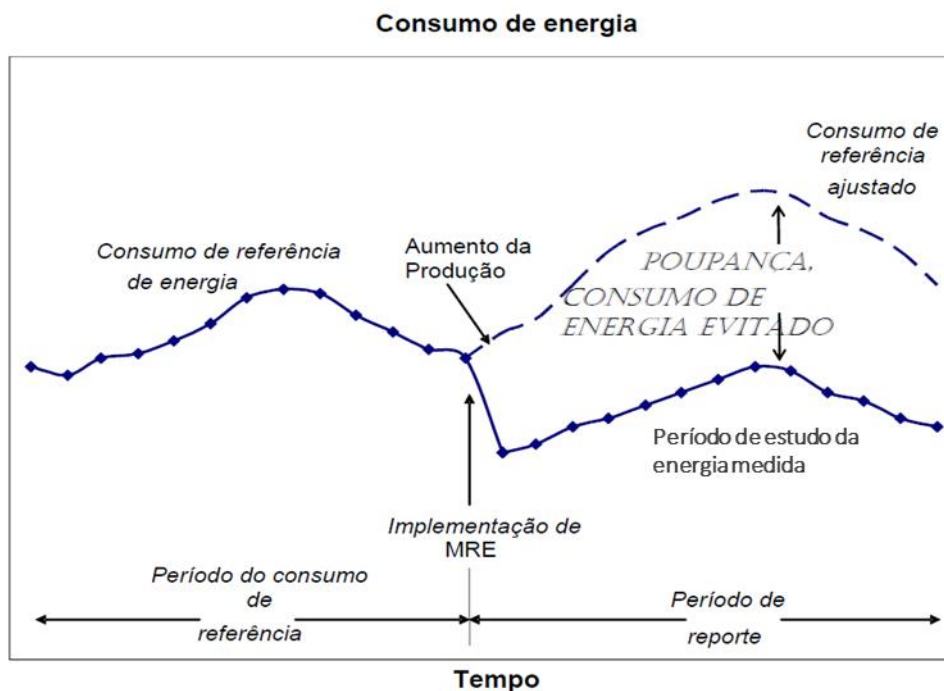


Figura 4.1 - Evolução do consumo de energia antes e depois da implementação de medidas de racionalização de energia ¹³.

A equação (4.1), usada para definir este processo pode ser simplificada por:

$$\text{Economia total} = \text{Energia consumida no período de referência} - \text{Energia consumida no período em estudo} \pm \text{Ajustes} \quad (4.1)$$

O Plano Medição e Verificação consiste na instalação de contadores, recolha e tratamento de dados, métodos de cálculo e de estimativas, garantia de qualidade e verificação de relatórios por terceiros. Este plano pode ser dispensado quando não existem muitas dúvidas em relação ao resultado de um projeto, normalmente em projetos mais pequenos e simples, ou quando não é preciso mostrar os resultados ao cliente. No entanto, convém sempre verificar se o equipamento instalado consegue obter as poupanças previstas. Estas ações têm o objetivo de aumentar a poupança de energia, assim como a credibilidade e confiança neste tipo de projetos, garantir mais financiamento, melhorar o projeto em termos de funcionamento e manutenção, melhorar a gestão energética, aumentar o valor dos de redução de emissões e aumentar a aceitação pública da eficiência energética.

4.2. Períodos de medição

Como referido anteriormente, o modo de verificar se existiu um menor consumo de energia, ou seja, se existiu poupança, é comparar um determinado período de tempo antes e depois da instalação dos sistemas de eficiência.

O período antes da instalação desses sistemas de eficiência, designado por período de referência, deve ser um ciclo em que possua os modos de funcionamento normais, tendo valores de consumo mínimo e máximo da instalação. Na seleção deste período, é importante que todos os fatores e valores sejam conhecidos, de forma a aumentar a precisão. Este período também deve ser escolhido antes da seleção das medidas de eficiência que vão ser operacionalizadas.

O período de estudo, corresponde ao período após a instalação dos sistemas de eficiência, e tem de corresponder ao mesmo ciclo de funcionamento do período de referência, para verificar a

eficácia das medidas implantadas. A duração deste período deve ser determinada tendo em conta o tipo de medidas de eficiência implementadas e a sua degradação ao longo do tempo. Independentemente da duração deste período, pode existir um registo dos consumos, de forma a controlar as poupanças geradas.

4.3. Fronteiras de medição

A fronteira de medição define quais os limites da medição, seja apenas quando é em torno de um aparelho, ou o consumo total de um edifício, a fim de gerir o desempenho energético de toda a instalação. Existe ainda a possibilidade de obter dados energéticos a partir de uma simulação, isto acontece quando não existem dados do período de referência ou do período de estudo, ou quando não são fiáveis. Pode ainda surgir a necessidade de ir buscar dados para além das fronteiras de medição, em alguns casos específicos, como falta de dados. Quando o objetivo é apenas reportar a gestão de energia do equipamento afetado pela medida de eficiência, é estabelecido uma fronteira de medição apenas em torno desse mesmo equipamento, medindo todas as necessidades energéticas dentro desse limite. É usado nas opções de medição isolada. Por outro lado, se o objetivo for o de gerir as necessidades energéticas de toda a instalação, podem ser usados os contadores da empresa fornecedora de energia para registar quanto foi consumido e quanto se poupa com as medidas de eficiência ^[13].

4.4. Ajustes

Estes ajustes correspondem a fatores fixos ou variáveis que têm influência no consumo de energia no equipamento ou instalação que está a ser estudada, ou seja, dentro da fronteira de medição. Podem ser de dois tipos, periódicos e não-periódicos. Os primeiros são aqueles que mudam periodicamente como o clima ou a taxa de produção. Os outros são os fatores estáticos, que não mudam frequentemente, tais como as dimensões da instalação ou características do edifício. Estes ajustes serão usados para calcular o Consumo de Referência Ajustado, ou seja, será este parâmetro que servirá de referência para calcular as economias geradas. Estes termos de ajuste fazem a diferença entre o consumo energético real que ocorreria sem as medidas de eficiência energética, e uma simples comparação com valores de períodos anteriores. Este valor ajustado dará uma ideia do potencial de redução do consumo de energia, por isso a importância de fazer uma estimativa o mais real possível ^[12,13].

4.5. Variáveis independentes

As variáveis independentes são fatores externos que poderão alterar os consumos energéticos de um edifício, e deverão ser tidas em consideração na previsão do consumo energético.

- **Tarifas de energia**

O valor da energia que consta na fatura energética é calculado a partir dos custos que cada cliente tem no sistema energético. Existem quatro etapas distintas na cadeia energética: produção, transporte, distribuição e fornecimento. Em cada uma dessas etapas existem custos que serão refletidos nos consumidores finais, e são esses custos que definem o preço da energia ^[14]. Na produção, existe a influência do custo dos combustíveis, o gás e petróleo, mas também o carvão no caso das centrais termoeletricas, que produzem eletricidade através do vapor de água. Nas centrais renováveis, aerogeradores eólicos ou painéis fotovoltaicos, embora o vento e o Sol não tenham um custo, temos o investimento necessário na instalação dessas tecnologias.

O transporte da energia também apresenta custos associados, os combustíveis fosseis como o carvão e petróleo podem ser transportados em comboios, e o gás em gasodutos que se prolongam por quilómetros. O transporte da energia elétrica é feito através de cabos em alta tensão, o que implica o custo de construção e manutenção das infraestruturas espalhadas pelo país.

A distribuição é a ligação entre o transporte e o consumidor final, e implica os postos de transformação e os contadores no caso da eletricidade, e infraestruturas próprias no caso da gasolina e gás, o que significa custos na construção e manutenção.

O fornecimento garante que o consumidor final receba a energia nas melhores condições, fazendo também a sua faturação.

Para começar, podemos fazer uma análise às faturas energéticas, neste caso eletricidade e gás propano a granel. Os preços das tarifas de energia apresentam variação diária, sazonal e anual. Para isso é preciso ajustar de forma a corresponder à realidade.

- **Energia Elétrica**

A fatura elétrica é composta por várias partes, sendo que cerca de 50% do seu valor é por via de impostos, e a outra metade é o custo da energia. Existem vários níveis de tensão, consoante o tamanho da instalação e sua utilização de energia, nomeadamente “Muito Alta Tensão”, “Alta Tensão”, “Média Tensão”, “Baixa Tensão Especial” e “Baixa Tensão Normal”. Nos níveis acima de “Média Tensão”, existem quatro períodos do dia diferentes para a energia elétrica, consoante a sua procura. Como a este nível não é possível haver armazenagem de energia elétrica, é necessário haver sempre um equilíbrio entre produção e consumo. Os períodos são ^[14]:

- **ponta**, correspondente às horas em que o consumo elétrico atinge o pico;
- **cheia**, período mais alargado onde há muito consumo elétrico;
- **vazio**, período em que o consumo é baixo;
- **super vazio**, período em que quase não existe consumo, tipicamente as horas da madrugada.

O preço da energia ativa é diferente nestes quatro períodos, sendo mais alto no período ponta, e sendo cada vez mais baixo até chegar ao super vazio. Estes valores são definidos pelas diferentes comercializadoras.

O valor da energia tem ainda outro valor associado, a Tarifa de Acesso às Redes, que é definida todos os anos pela ERSE. Esta tarifa é igual para todas as comercializadoras (**Figura 4.2**). Depois da energia ativa, temos outros custos, como a potência contratada e as horas de ponta. A potência contratada varia conforme a potência total do ponto de consumo, sendo tanto maior quanto o tamanho da instalação. A potência em horas de ponta surge como um imposto para taxar as horas de consumo em ponta, com o objetivo de penalizar quem consome nesse período, tentando fazer com que haja mais consumo em outros períodos não tão concorridos.

TARIFAS DE VENDA A CLIENTES FINAIS DA RAM EM MT		PREÇOS	
Termo tarifário fixo		(EUR/mês)	(EUR/dia)*
		33,40	1,0979
Potência		(EUR/kW.mês)	(EUR/kW.dia)*
	Horas de ponta	8,867	0,2915
	Contratada	1,269	0,0417
Energia activa		(EUR/kWh)	
Períodos I, IV	Horas de ponta	0,1180	
	Horas cheias	0,0964	
	Horas vazio normal	0,0627	
	Horas super vazio	0,0569	
Períodos II, III	Horas de ponta	0,1191	
	Horas cheias	0,0978	
	Horas vazio normal	0,0651	
	Horas super vazio	0,0606	
Energia reactiva		(EUR/kvarh)	(EUR/kvarh)
	Indutiva	0,0225	
	Capacitiva	0,0168	

Figura 4.2 - Tarifa de acesso às redes publicados anualmente pela ERSE ^[14].

A partir do ano de 2012, foi adicionado um outro valor à fatura elétrica, o Imposto Especial de Consumo de Eletricidade. O valor deste imposto está fixado em 0,001€/kWh, ou seja, um euro por MWh. Este imposto, que está relacionado com as questões ambientais e pensado como um dos instrumentos para atingir as metas descritas no Protocolo de Quioto, ainda não tinha sido colocado em prática até a chegada da *troika*, que exigiu a sua cobrança ^[15]. A *troika*, entidade constituída por Banco Central Europeu, Fundo Monetário Internacional e Comissão Europeia, foi chamada a prestar auxílio financeiro a Portugal, na crise económica que assolou a Europa neste período, e uma das medidas que exigiu de Portugal foi a implementação deste imposto, ajudando também a reduzir o endividamento do Estado.

Na fatura elétrica aparece também a potência contratada, ou seja, a potência máxima disponível. Neste caso o preço é 0.0417 €/kW por mês. O preço da potência em horas de ponta é definido pelo quociente entre a energia ativa consumida em horas de ponta e o número de horas de ponta correspondente a esse período da fatura. Neste caso é 0.2915 €/kW por mês.

No caso do gás propano a granel, o valor cobrado é devido ao preço por kg de gás. Este valor é variável de mês para mês.

O preço dos combustíveis em Portugal registou uma subida constante até 2008. Depois houve uma ligeira descida em 2009, para voltar a subir até atingir o seu pico máximo em 2012. A seguir começou a descer até aos dias de hoje. O preço do gás propano, acompanha as variações dos combustíveis líquidos (**Figura 4.3**).

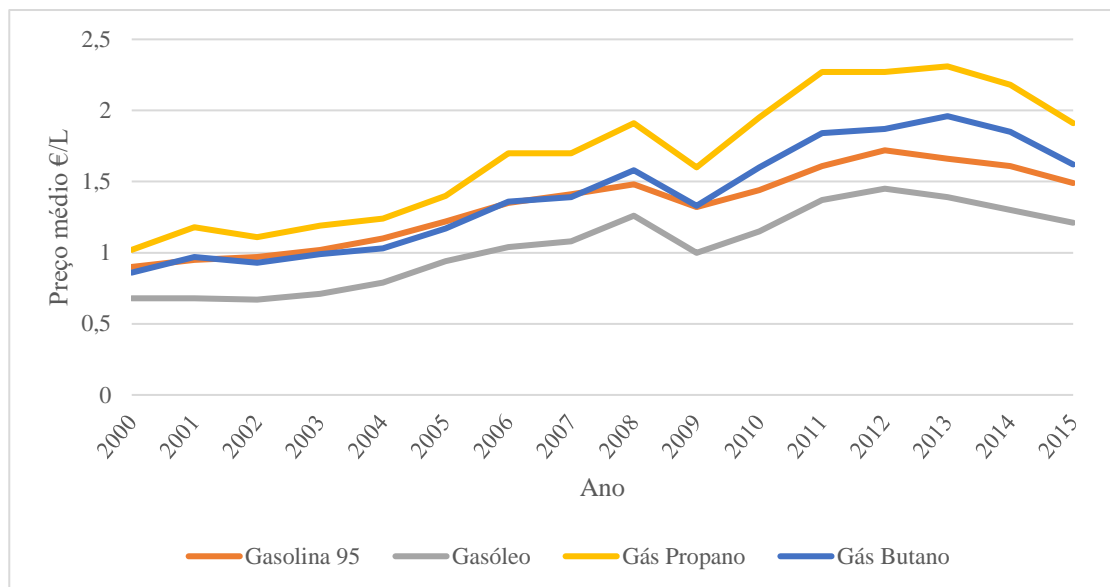


Figura 4.3 - Evolução do Preço dos Combustíveis ^[1].

Podemos observar que nos anos de estudo deste caso, o preço do gás propano encontra-se em decréscimo. Esta variável, não estando diretamente ligada ao consumo de energia, tem efeito no valor da fatura final, o que irá afetar o *baseline* calculado pela ESE. Por exemplo, um edifício tem um custo com a eletricidade de 1500€ no ano de referência. Caso não fosse contabilizada a eventual variação das tarifas energéticas, o *baseline* em que os cálculos iriam ser feitos, seria de 1500€. Depois de efetuar os estudos, determinava-se que a poupança no ano seguinte seria de 20%, ou seja, 300€ a menos na fatura final que faz um total de 1200€. Assumindo que no ano em estudo houve um aumento de 10% nos preços das tarifas, no final do ano a fatura seria de 1320€, e não de 1200€ como estimado pela ESE. O cliente pensaria que as alterações no sistema não foram eficazes, enquanto que o consumo desceu o previsto pela ESE, o que aumentou foram apenas as tarifas. Neste exemplo, a ESE ficaria a perder dinheiro, pois não receberia os 300€ acordados, mas apenas $1500€ - 1320€ = 180€$. Caso houvesse o devido ajustamento antes do contrato, o *baseline* inicial seria $1500€ + 150€ = 1650€$, em que 20% das poupanças seria 330€, e o custo final de eletricidade seria os 1320€. Neste caso, a ESE ainda ganharia mais fazendo o ajuste às tarifas. No caso de as tarifas descerem, como por exemplo o gás natural, partindo de um *baseline* de 1500€ sem alteração inicial, com uma proposta de 20% nos consumos energéticos, teríamos os 1200€ no final do ano. Na realidade, ter-se-ia uma fatura energética com uma descida de 10%, ou seja, 1080€. Sobrariam 420€ dos 1500€, muito acima dos 300€ acordado no contrato. Se esta diminuição tivesse sido contabilizada, o *baseline* inicial seria de 1350€, com a poupança a ser de 270€. Estes ajustes beneficiam sempre que há aumentos de preços, mas são importantes fazer sempre pois dão mais credibilidade e confiança a este tipo de negócios ^[13].

• Clima

Visto que grande parte do consumo de energia é destinado para AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado), o clima é uma das variáveis que será usada nos ajustes ao *baseline*. Os parâmetros escolhidos neste trabalho, e que costumam ser usados na estimativa das necessidades de aquecimento e arrefecimento dos edifícios, serão os graus-dia.

Os graus-dia de aquecimento (HDD) e os graus-dia de arrefecimento (CDD) são definidos respetivamente pelas seguintes expressões (4.2) e (4.3):

$$HDD = \sum_j^{24} \frac{(T_i - T_{aj})^+}{24} \quad (4.2)$$

$$CDD = \sum_j^{24} \frac{(T_{aj} - T_i)^+}{24} \quad (4.3)$$

Sendo T_{aj} a temperatura ambiente à hora j , e T_i a temperatura do ambiente interior do edifício.

- **Nível de ocupação**

Num hotel ou edifício de serviços, o nível de ocupação é uma variável que se relaciona com o consumo de energia, na iluminação ou utilização de equipamentos, e que será também analisada neste estudo. Assim sendo, pretende-se saber se o consumo durante a época baixa será igual ao consumo da época alta.

- **Taxa de produção**

Este indicador faz sentido na indústria, em que se pode relacionar qual a variação do consumo de energia com a quantidade produzida. Em teoria, com o aumento da produção, haverá também um aumento na energia consumida. Caso esta variável não estivesse ajustada, poderia dar falsas indicações ao cliente depois das medidas de eficiência energética, pois se aumentasse a produção, aumentaria a energia consumida e o cliente ficaria a pensar que não houve poupança de energia [13].

4.6. Visão Geral das Opções do IPMVP

A energia consumida durante o período de referência pode ser medida através de várias formas:

- Leitura dos contadores de energia ou das faturas do setor energético;
- Contadores especiais em que isolam o equipamento;
- Medições separadas de parâmetros usados nos cálculos do consumo de energia;
- Medição de provas de substituição de consumo de energia;
- Simulação por computador de dados de desempenho energético.

Quando existem valores que são conhecidos com precisão, ou se a medição for muito dispendiosa, podemos usar estimativas a partir de alguns parâmetros mais relevantes.

O IPMVP apresenta quatro opções para determinar a economia gerada (**A**, **B**, **C** e **D**). Tanto a **opção A** como a **opção B**, são formas de medição isoladas, ou seja, assentam apenas num equipamento ou parte da instalação, enquanto que, na **opção C** e **D**, a medição engloba a totalidade da instalação. Aqui estão umas breves noções sobre as quatro opções, segundo o IPMVP:

- **Opção A** - Medição Isolada da Medida de Racionalização de Energia (MRE): medição dos parâmetros chave, e estimativa dos outros parâmetros, como as horas de funcionamento de um equipamento.

A poupança é determinada pela medição no terreno dos parâmetros chave do desempenho energético, que define o consumo de energia dos sistemas afetados pelas medidas de

racionalização de energia. A frequência da medição vai desde o curto prazo a uma medição contínua, dependendo das variações esperadas no parâmetro medido e da duração do período em estudo. Os parâmetros que não são selecionados para medição no terreno são estimados. Esses parâmetros estimados podem basear-se em dados históricos, especificações do fabricante ou avaliação da engenharia. É necessária a documentação da fonte ou justificação do parâmetro estimado. O erro de poupança provável que surge da estimativa em vez da medição é também avaliado.

- **Opção B** - Medição Isolada da MRE: medição de todos os parâmetros.

A poupança é determinada pela medição no terreno do consumo de energia do sistema afetado pela MRE. A frequência da medição vai desde o curto prazo a uma medição contínua, dependendo das variações esperadas na poupança e da duração do período em estudo.

- **Opção C** - Medição de toda a instalação.

A poupança é determinada pela medição do consumo de energia ao nível de toda a instalação. Medições contínuas do consumo de energia de toda a instalação são efetuadas durante o período em estudo.

- **Opção D** - Simulação calibrada.

A poupança é determinada através da simulação do consumo de energia de toda a instalação. Rotinas de simulação são demonstradas para modelar adequadamente o desempenho energético real medido na instalação. Esta opção requer habitualmente competências consideráveis em simulação calibrada ^[13].

5. Metodologia

Este trabalho tem como objetivo analisar qual o efeito de variáveis independentes, clima e taxa de ocupação, no consumo de energia, utilizando dados de faturas energéticas referentes a um edifício de serviços e seguindo o método descritivo no IPMVP. Para este estudo foi escolhido um hotel, identificado por “Hotel X”, uma vez que é um edifício com elevados consumos energéticos, logo apresenta um maior potencial de poupança. Os dados sobre esses mesmos consumos foram fornecidos por uma ESE. De modo a satisfazer as necessidades requeridas por este hotel, existem dois tipos de energia utilizadas, energia elétrica e gás propano. O gás propano é utilizado no aquecimento de água, nomeadamente para banhos e águas sanitárias, mas também na cozinha, nos fogões a gás, por exemplo.

5.1. Análise da Fatura Energética

Para começar, foi necessário realizar uma análise às faturas energéticas, neste caso eletricidade e gás propano a granel. Os preços das tarifas de energia apresentam variação diária, sazonal e anual deste modo é necessário fazer um ajuste de forma a efetuar uma atualização dos preços de acordo com essas mesmas variações. Os dados das faturas energéticas obtidos são referentes a um período de dois anos de referência, respetivamente 2012 e 2013.

5.2. Cálculo do *Baseline*

Após analisar os consumos referentes à energia elétrica e ao gás propano, foi novamente feita uma análise às faturas de energia, com o objetivo de calcular o valor de *baseline*. De acordo com o método descrito para o cálculo do *baseline*, é necessário obter o consumo mensal médio e o custo específico de energia, ou seja, o custo por unidade de energia expresso em kWh. Este valor também é analisado mensalmente, pois existem algumas variações ao longo do ano. Nesta análise, utilizamos apenas os dados referentes ao ano de 2013, pois é o ano mais recente do período de referência apresentando o preço da energia mais atualizado.

Depois de calculado o consumo médio e o custo específico, é possível saber qual o custo de referência mensal. O valor do *baseline* é a soma dos custos de referência mensais.

5.3. Análise de Regressão Linear

Após obter os valores do *baseline*, estudou-se o efeito das variáveis independentes no consumo energético do Hotel X, utilizando uma regressão linear. Numa análise de regressão linear, o objetivo é tentar compreender como duas variáveis se relacionam entre si, ou seja, se a forma como uma variável evolui, terá impacto nos valores de outra variável. Este modelo matemático é muito útil, e usado em diversas áreas científicas. A equação (5.1) mais utilizada neste modelo é apresentada em seguida:

$$Y = \alpha + \beta X_i + \epsilon_i \quad (5.1)$$

Y é a variável dependente ou valor final. Neste caso é o consumo de energia;

α é a constante que representa a interceção da reta com o eixo vertical;

β é a constante que representa o declive da reta;

X é a variável independente em estudo;

ϵ_i é a variável que inclui os erros residuais de medição.

5.3.1. Coeficiente de Determinação (R^2)

Este coeficiente (5.2) avalia a relação entre a variação explicada pela equação de regressão e a variação total da variável dependente (consumo energia). R^2 varia entre 0 e 1.

$$R^2 = \frac{\sum(f(x_i) - \bar{y})^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \quad (5.2)$$

$f(x_i)$ é o valor da variável dependente prevista pelo modelo de regressão;

\bar{y} é a média dos valores da variável dependente;

y_i são os valores reais da variável dependente.

5.3.2. Coeficiente de variação do erro padrão da estimativa ($CV(RMSE)$)

Usado para medir a exatidão da previsão do modelo (5.3):

$$y \pm t * EP \quad (5.3)$$

y é o valor previsto da variável dependente;

t é o valor obtido a partir dos quadros da estatística t (tabela);

EP é o erro padrão do modelo de regressão.

O valor do Erro Padrão é obtido pela equação (5.4 e 5.5):

$$EP = \sqrt{\frac{\sum(f(x_i) - y_i)^2}{n - p - 1}} \quad (5.4)$$

$$CV(RMSE) = \frac{EP}{\bar{y}} \quad (5.5)$$

Onde p é o número de variáveis independentes na equação de regressão. Dividindo o Erro Padrão pelo consumo de energia médio, obtém-se o coeficiente de variação $RMSE$, ou $CV(RMSE)$.

Este coeficiente é importante uma vez que não é muito vulnerável à inclinação da reta ajustada no modelo de regressão. É ainda uma indicação da variação dos dados não processados a partir de uma linha de regressão e varia entre 0 e 1, ou entre 0% e 100%. O valor de 0 será o valor ótimo. Tal como no caso do coeficiente de determinação, não existe um valor limite fixo de aceitabilidade estabelecido, no entanto é definido um valor máximo admissível de 5%, ou seja um modelo para ser considerado aceite, segundo este coeficiente, deverá de ter um valor inferior a 0,05 [12,13].

5.3.3. Estatística- t

Os coeficientes do modelo de regressão são apenas estimativas estatísticas entre uma variável individual e a variável dependente, e como tal, estão sujeitas a variações. Para avaliar o grau de exatidão da estimativa, é utilizado um teste. Pelo erro padrão e o valor associado da estatística- t , determina-se qual o interesse estatístico da estimativa.

Considerando uma variável independente, temos a seguinte equação (5.6) para o erro padrão:

$$EP_c = \sqrt{\frac{\sum (y_i - f(x_i))^2 / (n - 2)}{\sum (X_i - \bar{X})^2}} \quad (5.6)$$

Quando existe mais do que uma variável é necessário utilizar um software para o seu cálculo.

O intervalo de valores do coeficiente de cada variável situa-se entre (equação 5.7):

$$a \pm t * EP_c \quad (5.7)$$

Para calcular o valor da estatística-*t* utiliza-se então a equação (5.8):

$$estatistica_t = \frac{a}{EP_c} \quad (5.8)$$

A seguir, compara-se o valor calculado com os valores críticos na tabela *t* (Figura 5.1), para um intervalo de confiança de 95%. Se o valor absoluto da estatística-*t* for maior do que o valor correspondente na tabela, significa que a estimativa é válida [13].

Número de leituras					Número de leituras				
(Tamanho da amostra)					(Tamanho amostra)				
	95%	90%	80%	50%		95%	90%	80%	50%
2	12,71	6,31	3,08	1,00	17	2,12	1,75	1,34	0,69
3	4,30	2,92	1,89	0,82	18	2,11	1,74	1,33	0,69
4	3,18	2,35	1,64	0,76	19	2,10	1,73	1,33	0,69
5	2,78	2,13	1,53	0,74	20	2,09	1,73	1,33	0,69
6	2,57	2,02	1,48	0,73	21	2,09	1,72	1,33	0,69
7	2,45	1,94	1,44	0,72	22	2,08	1,72	1,32	0,69
8	2,36	1,89	1,41	0,71	23	2,07	1,72	1,32	0,69
9	2,31	1,86	1,40	0,71	24	2,07	1,71	1,32	0,69
10	2,26	1,83	1,38	0,70	25	2,06	1,71	1,32	0,68
11	2,23	1,81	1,37	0,70	26	2,06	1,71	1,32	0,68
12	2,20	1,80	1,36	0,70	27	2,06	1,71	1,31	0,68
13	2,18	1,78	1,36	0,70	28	2,05	1,70	1,31	0,68
14	2,16	1,77	1,35	0,69	29	2,05	1,70	1,31	0,68
15	2,14	1,76	1,35	0,69	30	2,05	1,70	1,31	0,68
16	2,13	1,75	1,34	0,69	?	1,96	1,64	1,28	0,67

Figura 5.1- Tabela-*t*.^[13]

6. Resultados

6.1. Análise da Fatura Energética

Relativamente aos consumos de energia ao longo dos dois anos de referência apresentados graficamente, é importante verificar a existência de um padrão sazonal no consumo de energia elétrica (**Figura 6.1**). O mesmo não ocorre no caso do consumo de gás propano (**Figura 6.2**), em que existe uma maior variabilidade mensal sem a existência de um padrão visível.

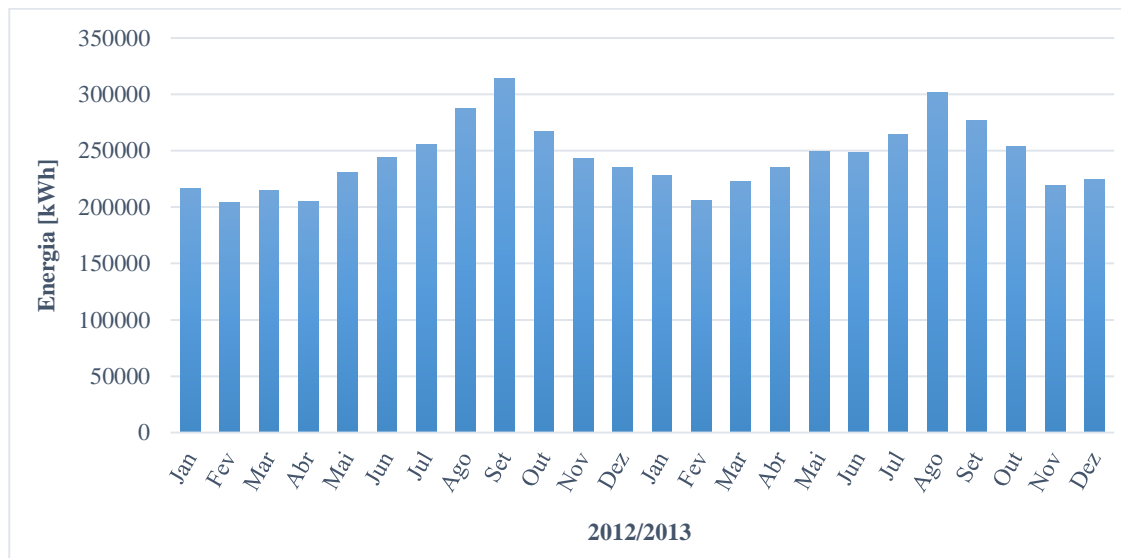


Figura 6.1 - Consumo elétrico dos dois anos de referência do Hotel X.

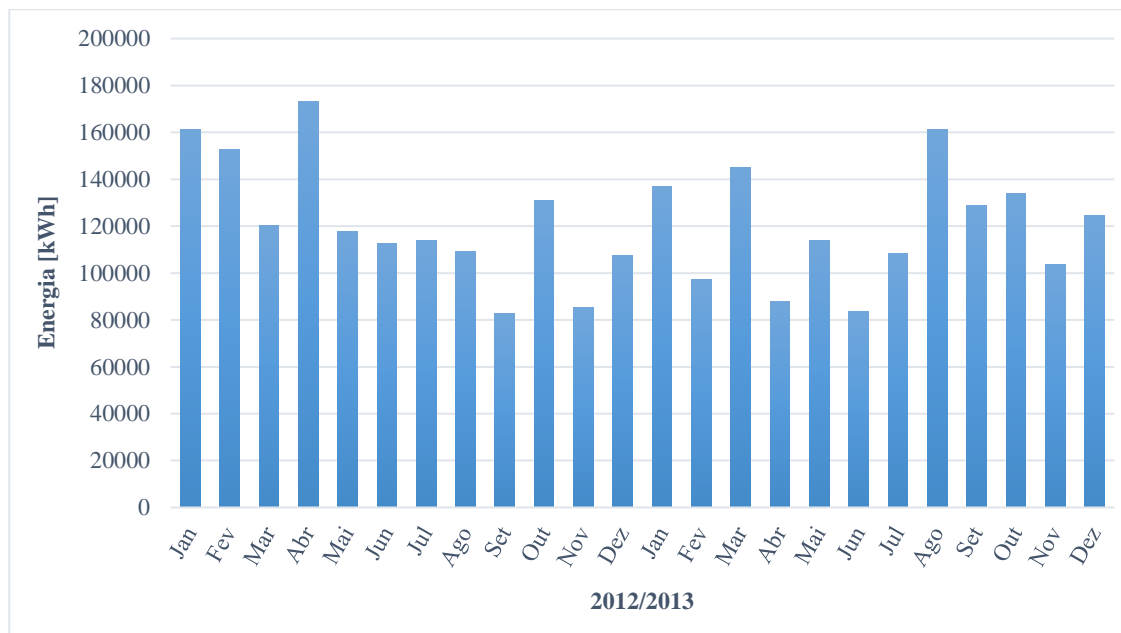


Figura 6.2 - Consumo de gás nos dois anos de referência no Hotel X em estudo.

6.2. Cálculo do *Baseline*

Seguidamente apresentam-se os valores médios de consumo mensal de energia dos anos de referência divididos por fontes de energia (**Tabela 6.1**).

Tabela 6.1 - Valores de consumo de eletricidade e gás dos dois anos de referência e respetivos valores de consumo médio.

	Eletricidade			Gás		
	Consumo em 2012 [kWh]	Consumo em 2013 [kWh]	Média [kWh]	Consumo em 2012 [kWh]	Consumo em 2013 [kWh]	Média [kWh]
Janeiro	216395	228465	222430	161394	136868	149131
Fevereiro	204511	205465	204988	152567	97333	124950
Março	214717	222413	218565	120320	145009	132665
Abril	204787	235569	220178	173134	88021	130578
Maio	230503	249307	239905	117916	114078	115997
Junho	244059	248215	246137	112673	83533	98103
Julho	255732	264583	260158	113731	108535	111133
Agosto	287516	301924	294720	109307	161304	135305
Setembro	314364	276946	295655	82723	128868	105796
Outubro	267379	253660	260520	130862	133846	132354
Novembro	242799	219278	231039	85205	103468	94336
Dezembro	235544	224242	229893	107673	124418	116046

Na **Tabela 6.2** estão apresentados os valores do custo específico mensal de energia referentes apenas ao ano de 2013, uma vez que é o período mais recente apresentando assim o preço de energia mais atualizado. De salientar que os valores do custo apresentados mensalmente não incluem o IVA.

Tabela 6.2 - Valores do custo específico, resultante da multiplicação do consumo do ano de 2013 com o custo de 2013.

	Eletricidade			Gás		
	Consumo 2013 [kWh]	Custo 2013 [€]	Custo específico [€/kWh]	Consumo 2013 [kWh]	Custo 2013 [€]	Custo específico [€/kWh]
Janeiro	228465	24458,10	0,1071	136868	11593,08	0,0847
Fevereiro	205465	21993,08	0,1070	97333	7552,48	0,0776
Março	222413	23856,60	0,1073	145009	11481,34	0,0792
Abril	235569	25149,88	0,1068	88021	6734,63	0,0765
Maio	249307	26554,97	0,1065	114078	8342,94	0,0731
Junho	248215	26303,07	0,1060	83533	5712,87	0,0684
Julho	264583	28012,65	0,1059	108535	7422,78	0,0684
Agosto	301924	31767,84	0,1052	161304	12016,98	0,0745
Setembro	276946	29149,22	0,1053	128868	9565,40	0,0742
Outubro	253660	26503,21	0,1045	133846	7450,17	0,0557
Novembro	219278	23369,71	0,1066	103468	7812,82	0,0755
Dezembro	224242	23920,06	0,1067	124418	10177,91	0,0818

Depois de calculado o consumo médio e o custo específico, é possível saber qual o custo de referência mensal. O valor do *baseline* é a soma dos custos de referência mensais (**Tabela 6.3**).

Tabela 6.3 - Cálculo do custo de referência, a partir da multiplicação do custo específico calculado anteriormente com a média do consumo dos dois anos de referência.

	Eletricidade			Gás		
	Média [kWh]	Custo específico [€/kWh]	Custo referência [€]	Média [kWh]	Custo específico [€/kWh]	Custo referência [€]
Janeiro	222430	0,1071	23812,03	149131,01	0,0847	12631,80
Fevereiro	204988	0,1070	21942,02	124949,98	0,0776	9695,41
Março	218565	0,1073	23443,85	132664,5	0,0792	10503,94
Abril	220178	0,1068	23506,70	130577,94	0,0765	9990,68
Maio	239905	0,1065	25553,51	115997,12	0,0731	8483,29
Junho	246137	0,1060	26082,87	98102,718	0,0684	6709,31
Julho	260157,5	0,1059	27544,10	111132,86	0,0684	7600,45
Agosto	294720	0,1052	31009,85	135305,32	0,0745	10080,11
Setembro	295655	0,1053	31118,39	105795,5	0,0742	7852,79
Outubro	260519,5	0,1045	27219,92	132353,69	0,0557	7367,13
Novembro	231038,5	0,1066	24623,10	94336,25	0,0755	7123,31
Dezembro	229893	0,1067	24522,85	116045,81	0,0818	9493,00
Total			310379,18			107531,22

Sendo o custo de referência total calculado através da soma dos custos com a eletricidade e gás, podemos concluir que no Hotel X, o custo de referência total é respetivamente $310\,379,18\text{ €} + 107\,531,22\text{ €} = 417\,910,40\text{ €}$. Observa-se ainda que o custo total com a eletricidade representa 74% do custo total de energia, uma parcela muito superior ao custo do gás (26%) (**Figura 6.3**).

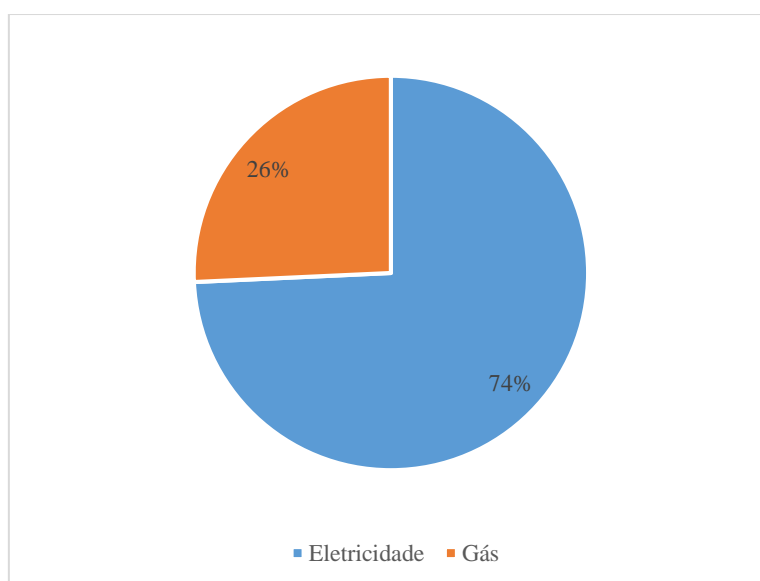


Figura 6.3 - Distribuição do custo de energia consumida dividida por tipo de combustível.

6.3. Ajuste Tarifário

6.3.1. Electricidade

Todos os anos as tarifas de valor fixo da fatura energética sofrem alterações, devido a fatores como a inflação ou investimento nas infraestruturas de transporte e produção de energia. Na **Tabela 6.4** e **Figura 6.4 a)** e **b)** estão descritos e representados graficamente os preços das várias tarifas que fazem parte da fatura elétrica, para o ano de 2013 e 2014:

Tabela 6.4 - Preço da energia ativa das faturas nos anos de referência.

		2013	2014	Variação
I e IV Trimestre [€/kWh]	<i>Super Vazio</i>	0,0569	0,0565	-0,7%
	<i>Vazio</i>	0,0627	0,0666	6,2%
	<i>Ponta</i>	0,118	0,1162	-1,5%
	<i>Cheias</i>	0,0964	0,0966	0,2%
II e III Trimestre [€/kWh]	<i>Super Vazio</i>	0,0606	0,0643	6,1%
	<i>Vazio</i>	0,0651	0,0691	6,1%
	<i>Ponta</i>	0,1191	0,1149	-3,5%
	<i>Cheias</i>	0,0978	0,098	0,2%
[€/dia]	<i>Termo tarifário fixo</i>	1,0979	0,66297	-39,6%
[€/kW.dia]	<i>Horas de Ponta</i>	0,2915	0,2945	1,0%
[€/kW.dia]	<i>Potência Contratada</i>	0,0417	0,0388	-7,0%

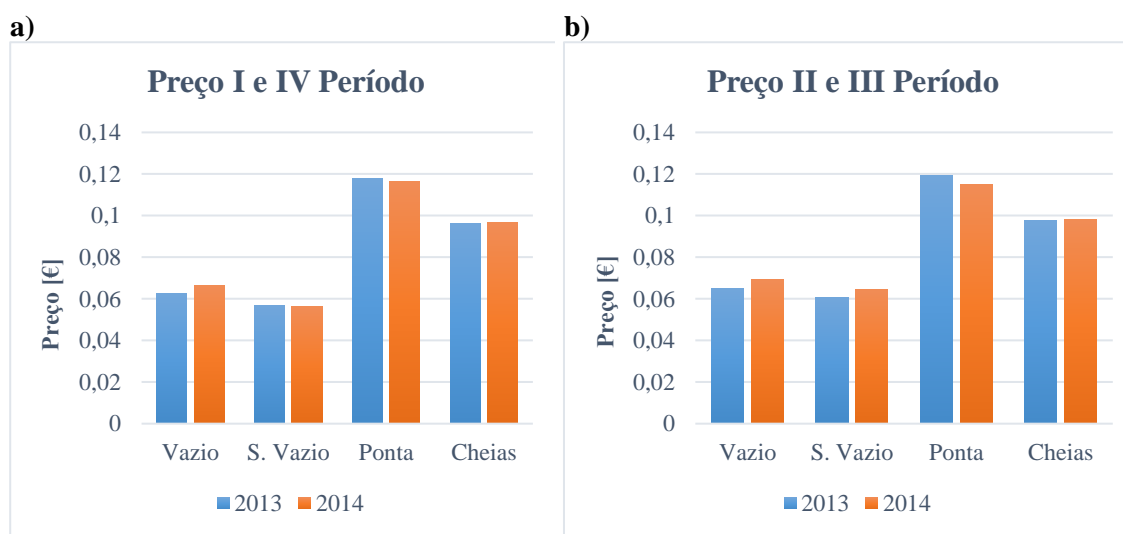


Figura 6.4 - Representação gráfica dos preços de energia ativa das faturas nos anos de referência **a)** no primeiro e quarto trimestre do ano **b)** no segundo e terceiro trimestre do ano.

Podemos constatar que não houve um aumento significativo no ano de 2014, verificando-se mesmo uma descida acentuada em algumas tarifas, como o termo fixo, que desceu cerca de 40%. Para além disso, mantém-se o Imposto Especial de Consumo, que continua nos 0,001€/kWh.

O ajuste tarifário é muito importante, pois vai existir uma parte do valor que pode ter de ser financiado por parte da ESE ou do cliente, dependendo se as alterações das tarifas são contabilizadas, e se sobem ou descem.

6.3.2. Gás

Em relação às tarifas do gás propano, verifica-se que as variações mensais estão em linha com a diminuição registada no preço dos combustíveis fósseis nesses anos (**Tabela 6.5** e **Figura 6.5**).

Tabela 6.5 - Variação do preço do gás de 2013 para 2014.

	2013 [€/kg]	2014 [€/kg]	Variação
Janeiro	1,089	1,070	-1,82%
Fevereiro	0,998	0,999	0,11%
Março	1,018	0,958	-5,93%
Abril	0,984	0,919	-6,57%
Maio	0,941	0,916	-2,66%
Junho	0,880	0,876	-0,45%
Julho	0,880	0,880	0,06%
Agosto	0,958	0,924	-3,59%
Setembro	0,955	0,871	-8,75%
Outubro	0,934	0,894	-4,28%
Novembro	0,971	0,834	-14,16%
Dezembro	1,052	0,801	-23,88%

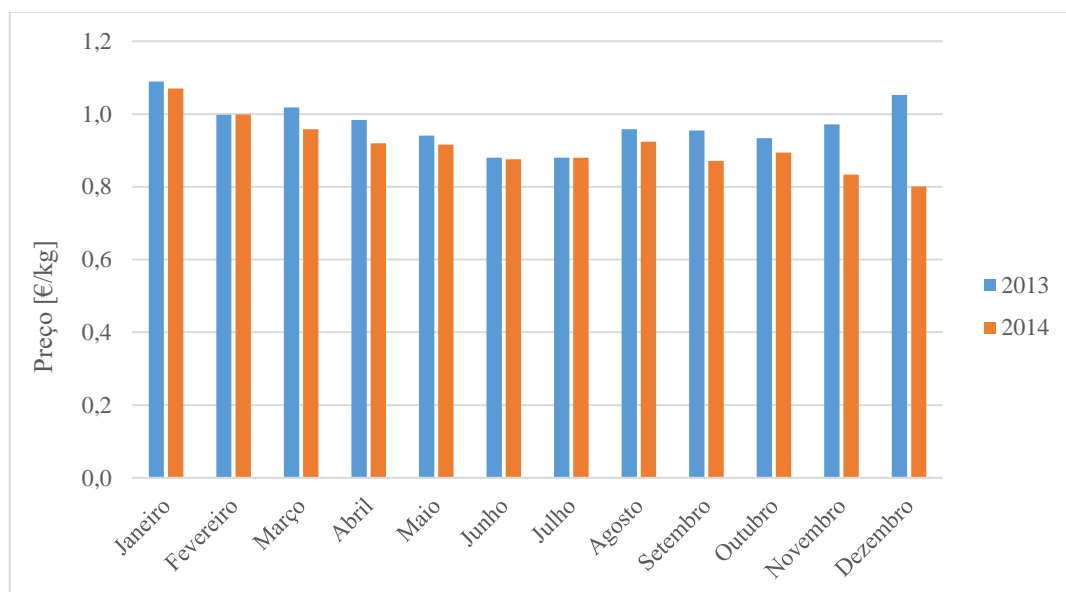


Figura 6.5 - Tarifas Gás Propano referentes aos anos de 2013 e 2014.

6.4. Análise de Regressão Linear

6.4.1. Eletricidade

Os aparelhos de refrigeração, como o ar condicionado, são aparelhos elétricos, por isso, procura-se encontrar uma relação entre o consumo de eletricidade e as necessidades de arrefecimento nos dias com temperaturas mais elevadas, pelo que se adotou como variável independente clima os graus-dia de arrefecimento (CDD). Procurou-se ainda testar a relação do consumo de eletricidade apenas com a ocupação, e finalmente, com ambas as variáveis ocupação e CDD.

- **Eletricidade Vs. CDD**

Procurando a correlação entre o consumo de eletricidade dos 12 meses do ano de 2013, com a variável independente dos graus-dia de arrefecimento para esse ano, temos o seguinte sumário (**Tabela 6.6**):

Tabela 6.6 - Tabela dos resultados da análise de regressão linear entre o consumo elétrico e os graus-dia de arrefecimento.

SUMÁRIO DOS RESULTADOS	
Eletricidade Vs. CDD	
<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,916
Quadrado de R	0,839
Quadrado de R ajustado	0,822
Erro-padrão	11552,734
Observações	12

Podemos ver que o valor do quadrado de R, apresenta um valor superior a 0,75, significando que tem importância estatística. O consumo elétrico aumenta com as necessidades de arrefecimento.

- **Eletricidade Vs. Ocupação**

Analisando agora a relação entre o consumo elétrico e a taxa de ocupação, obtemos os seguintes resultados (**Tabela 6.7**):

Tabela 6.7 - Tabela dos resultados da análise de regressão linear entre o consumo elétrico e a taxa de ocupação.

SUMÁRIO DOS RESULTADOS	
Eletricidade Vs. Ocupação	
<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,791
Quadrado de R	0,626
Quadrado de R ajustado	0,609
Erro-padrão	18782,192
Observações	24

Aqui foram utilizadas 24 observações, pois conseguimos os dados da ocupação dos dois anos em estudo. Temos 0,62 como valor do quadrado de R, ou seja, é suficiente para ser considerado relevante.

- **Eletricidade Vs. CDD e Ocupação**

Juntando as duas variáveis independentes, obtemos os seguintes valores (**Tabela 6.8**):

Tabela 6.8 - Tabela dos resultados da análise de regressão linear entre o consumo elétrico e os graus-dia de arrefecimento e taxa de ocupação.

SUMÁRIO DOS RESULTADOS	
Eletricidade Vs. CDD e Ocupação	
<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,947
Quadrado de R	0,897
Quadrado de R ajustado	0,874
Erro-padrão	9716,522
Observações	12

Graficamente (**Figura 6.6**), podemos observar que a variação do consumo de eletricidade do último ano, acompanha a variação conjugada da taxa de ocupação e graus-dia de arrefecimento.

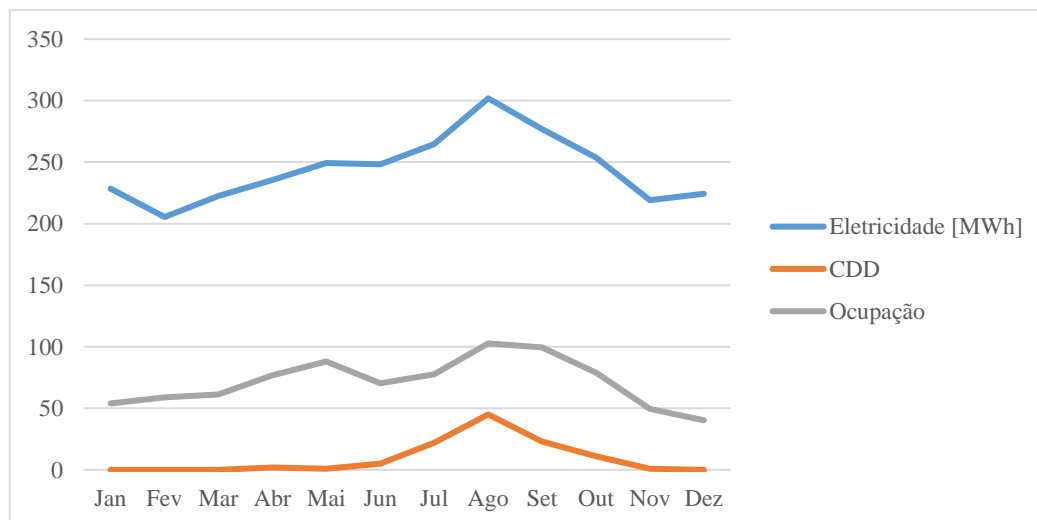


Figura 6.6 - Eletricidade, CDD e Ocupação.

6.4.2. Gás

Os consumos de gás propano estão associados ao aquecimento de águas sanitárias, para banhos e para a cozinha, na confeção dos alimentos. Na análise dos consumos de gás, relacionamos os graus-dia aquecimento (HDD) e a taxa de ocupação, pois em teoria, para os dias mais frios, será preciso um aquecimento maior, e para dias com mais pessoas, o consumo também deverá subir. Iremos utilizar o mesmo método que com a eletricidade.

- **Gás Vs. HDD**

Os resultados para a regressão entre esta variável (**Tabela 6.9**) mostram que não existe relação estatística, pois os valores do coeficiente de determinação são extremamente baixos (0,04).

Tabela 6.9 - Tabela dos resultados da análise de regressão linear entre o consumo de gás e os graus-dia de aquecimento.

SUMÁRIO DOS RESULTADOS	
Gás Vs. HDD	
<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,201
Quadrado de R	0,040
Quadrado de R ajustado	-0,056
Erro-padrão	24382,027
Observações	12

- **Gás Vs. Ocupação**

Relacionando agora o gás com a taxa de ocupação do hotel, nos dois anos de estudo, 2012 e 2013, temos o seguinte quadro (**Tabela 6.10**):

Tabela 6.10 - Tabela dos resultados da análise de regressão linear entre o consumo de gás e taxa de ocupação.

SUMÁRIO DOS RESULTADOS	
Gás Vs. Ocupação	
<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,231
Quadrado de R	0,053
Quadrado de R ajustado	0,010
Erro-padrão	25308,389
Observações	24

O valor do coeficiente de determinação também é muito baixo, ou seja, não existe uma relação linear entre o aumento da ocupação e aumento do consumo de gás.

- **Gás Vs. HDD e Ocupação**

Finalmente, relacionamos as duas variáveis, ocupação e graus-dia aquecimento (**Tabela 6.11**).

Tabela 6.11 - Tabela dos resultados da análise de regressão linear entre o consumo de gás e os graus-dia de aquecimento e ocupação.

SUMÁRIO DOS RESULTADOS	
Gás Vs. HDD e Ocupação	
<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,225
Quadrado de R	0,051
Quadrado de R ajustado	-0,160
Erro-padrão	25560,989
Observações	12

Mais uma vez, os valores continuam longe do expectável, uma vez que o quadrado de R continua muito baixo (0,05), significando que o clima e a taxa de ocupação não têm influência no consumo de gás do Hotel.

Apresentando o gráfico (**Figura 6.7**) da evolução dos valores dos consumos de gás, taxa de ocupação e graus-dia aquecimento, podemos ver que variações divergem, confirmando os valores das tabelas acima, não havendo nenhum padrão que relacione as variáveis com o aumento ou diminuição dos consumos do gás propano.

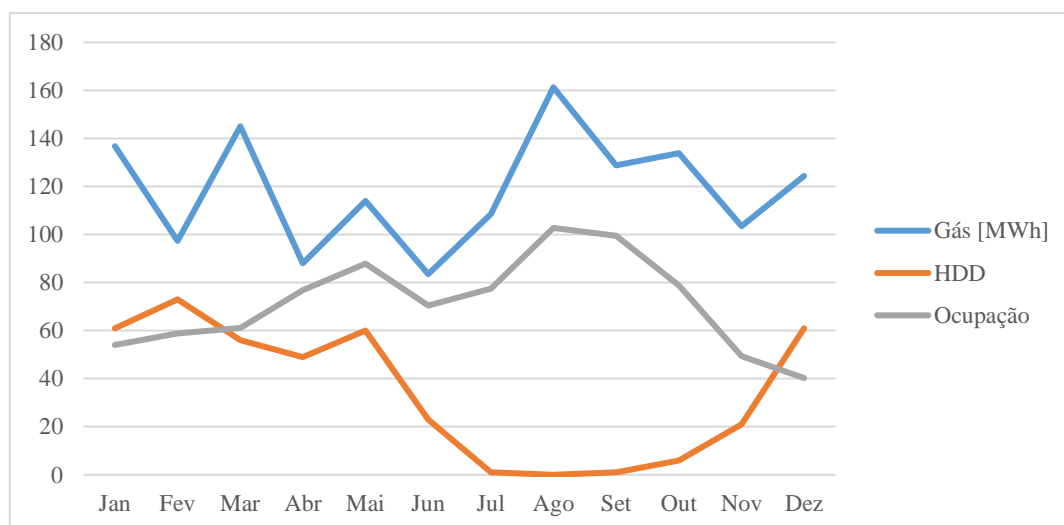


Figura 6.7 - Gás, HDD e Ocupação.

6.5. Cenário 1

Os resultados obtidos não foram suficientemente satisfatórios, por isso optou-se por fazer uma previsão do consumo energético, utilizando os coeficientes das variáveis que têm o coeficiente de determinação mais elevados e que os valores da estatística t estão dentro dos parâmetros, ou seja, que têm uma maior relação entre si. Neste caso, foi a ‘Eletricidade Vs. CDD’ e ‘Eletricidade Vs. Ocupação’.

Para estes cenários foram utilizados os valores dos consumos elétricos do ano 2013.

A equação (6.1) para fazer o ajuste terá a forma:

$$y = mx + b \quad (6.1)$$

Em que “m” é o coeficiente CDD, e o ‘b’ é o coeficiente “intercetar”.

A **Tabela 6.12** mostra que um aumento de 30% nos CDD, usando o coeficiente calculado, resulta num aumento do consumo anual de eletricidade de 10%.

Num ano mais quente, em que as temperaturas subiriam todas, no final haveria um aumento de 10% no consumo energético, fazendo variar os valores propostos inicialmente no contrato.

Tabela 6.12 - Tabela da previsão do consumo elétrico do Cenário 1.

	Eletricidade [kWh]	CDD	CDD (+30%)	Previsão do Consumo	Consumo a mais devido ao aumento do CDD
Janeiro	228465	0	14	252788,672	10,65%
Fevereiro	205465	0	14	252788,672	23,03%
Março	222413	0	14	252788,672	13,66%
Abril	235569	2	16	256354,088	8,82%
Maió	249307	1	15	254571,380	2,11%
Junho	248215	5	19	261702,212	5,43%
Julho	264583	22	36	292008,247	10,37%
Agosto	301924	45	59	333010,529	10,30%
Setembro	276946	23	37	293790,955	6,08%
Outubro	253660	11	25	272398,459	7,39%
Novembro	219278	1	15	254571,380	16,10%
Dezembro	224242	0	14	252788,672	12,73%
Total	2930067			3229561,935	10,22%

6.6. Cenário 2

No segundo cenário aumentou-se a taxa de ocupação em 30%, fazendo com que o consumo anual de eletricidade aumente cerca de 14% (**Tabela 6.13**).

Tabela 6.13 - Tabela da previsão do consumo elétrico do Cenário 2.

	Eletricidade [kWh]	Ocupação	Ocupação (+ 30%)	Previsão do Consumo	Consumo a mais devido ao aumento de ocupação
Janeiro	228465	46,0%	59,8%	246775,452	8,01%
Fevereiro	205465	55,5%	72,1%	265578,546	29,26%
Março	222413	52,1%	67,7%	258854,935	16,38%
Abril	235569	67,5%	87,8%	289508,030	22,90%
Mai	249307	74,8%	97,3%	303984,289	21,93%
Junho	248215	62,0%	80,6%	278490,281	12,20%
Julho	264583	66,0%	85,8%	286421,800	8,25%
Agosto	301924	87,5%	113,7%	329020,537	8,97%
Setembro	276946	87,5%	113,8%	329185,870	18,86%
Outubro	253660	67,1%	87,3%	288749,969	13,83%
Novembro	219278	43,5%	56,5%	241828,375	10,28%
Dezembro	224242	34,3%	44,5%	223561,249	-0,30%
Total	2930067			3341959,334	14,06%

Relativamente à análise mensal, apenas no mês de dezembro se verifica um decréscimo de consumo de eletricidade. Uma possível explicação para este facto poderá ser o facto deste método não apresentar uma correlação tão forte que explicaria todas as ocorrências.

6.7. Cenário 3

Finalmente, reduziu-se a taxa de ocupação em 20%, que resultou num decréscimo de cerca de 5% no consumo anual de energia elétrica (**Tabela 6.14**).

Tabela 6.14 - Tabela de previsão de consumo elétrico do Cenário 3.

	Eletricidade [kWh]	Ocupação	Ocupação (-20%)	Previsão do Consumo	Consumo a menos devido à diminuição da taxa de ocupação
Janeiro	228465	46,0%	36,8%	211729,637	-7,3%
Fevereiro	205465	55,5%	44,4%	223300,772	8,7%
Março	222413	52,1%	41,7%	219163,165	-1,5%
Abril	235569	67,5%	54,0%	238026,608	1,0%
Maio	249307	74,8%	59,9%	246935,075	-1,0%
Junho	248215	62,0%	49,6%	231246,455	-6,8%
Julho	264583	66,0%	52,8%	236127,390	-10,8%
Agosto	301924	87,5%	70,0%	262341,997	-13,1%
Setembro	276946	87,5%	70,0%	262443,741	-5,2%
Outubro	253660	67,1%	53,7%	237560,109	-6,3%
Novembro	219278	43,5%	34,8%	208685,282	-4,8%
Dezembro	224242	34,3%	27,4%	197443,974	-12,0%
Total	2930067			2775004,205	-5,3%

Aqui existem dois meses, fevereiro e abril, em que o consumo de eletricidade aumenta, apesar de haver uma diminuição da taxa de ocupação.

7. Discussão e Conclusões

O objetivo principal deste estudo centrou-se no peso das variáveis independentes no consumo de energia, que no caso do Hotel X, são a taxa de ocupação e o clima. Procurou-se assim correlacionar os dados dos consumos de eletricidade e gás propano com os dados climáticos e ocupação, prevendo-se inicialmente que existisse uma relação linear, ou seja, com o aumento do número de pessoas hospedadas no hotel, o consumo energético subiria. O mesmo ocorreria nos dias mais frios e nos dias mais quentes, devido ao aumento do esforço dos aparelhos de climatização para manter uma temperatura de conforto. Com os resultados destas regressões, foi possível concluir que:

- Para a eletricidade, a variável clima teve uma forte correlação, apresentando um valor de R^2 superior a 0,75, ou seja, o consumo elétrico aumentou com as necessidades de arrefecimento, de acordo com o que seria expectável.

Para a variável taxa de ocupação, atingiu-se um valor de R^2 de 0,62. Este valor, embora seja inferior ao de referência, apresenta relevância estatística, e mostra alguma relação entre o aumento do consumo elétrico com o aumento da ocupação, tal como seria esperado inicialmente, uma vez que existiriam mais pessoas no hotel a utilizarem mais equipamentos.

Conjugando as duas variáveis em estudo, clima e taxa de ocupação, o valor de R^2 foi de 0,89, mostrando que ambas as variáveis estão fortemente correlacionadas com o aumento do consumo elétrico, visto que este valor é próximo de 1. Estes valores poderão ser explicados uma vez que ambas as variáveis, quando estudadas separadamente, apresentaram valores de R^2 com relevância estatística e assim sendo esperar-se-ia que o seu efeito conjugado apresentasse também um aumento no consumo energético.

- Para o gás, a variável clima não apresentou uma correlação com o aumento do consumo da primeira, contrariamente ao que aconteceu com a electricidade. O valor de R^2 foi extremamente baixo (0,04) o que não nos permitiu inferir se existiu um aumento do consumo de gás com a diminuição da temperatura. Esperar-se-ia inicialmente que com o aumento da temperatura o consumo do gás diminuísse, uma vez que não seria necessário aquecer tanto as águas de uso sanitário e a piscina. O contrário ocorreria com a diminuição de temperatura, contudo tal não se verificou.

No caso da variável taxa de ocupação, o valor do coeficiente de determinação foi também bastante baixo, contrariamente ao que ocorreu com a electricidade, demonstrando novamente que não existiu uma relação linear entre o aumento da taxa de ocupação com o aumento do consumo de gás.

Quando conjugando as variáveis clima e taxa de ocupação, os valores continuam longe do expectável apresentando um valor de R^2 bastante baixo (0,05) não apresentando nenhuma relação com o aumento do consumo de gás. Mais uma vez, apesar de não serem esperados, estes resultados poderão ser explicados pelo facto de ambas as variáveis, quando estudadas separadamente, apresentarem valores de R^2 sem relevância estatística o que poderia indicar que o seu efeito no consumo energético, quando conjugado, seria semelhante. O facto do consumo de gás não se correlacionar com a taxa de ocupação e a temperatura do ar, poderá estar relacionado com o facto de a eletricidade faturada ser exatamente a que foi consumida nesse período, enquanto que a fatura do gás se refere ao que foi entregue nesse mês, o que poderá não coincidir com um consumo efetivo.

A seguir foram feitos três cenários, usando os coeficientes de determinação mais elevados e com os valores da estatística t dentro dos parâmetros. Vimos que no cenário 1, com um aumento de 30% nos CDD, o consumo anual de eletricidade subiria 10%. Faz sentido, visto que os

equipamentos de ar condicionado aumentariam a sua utilização e o seu consumo. No cenário 2, com um aumento de 30% de ocupação, o consumo elétrico aumentaria 14%, visto que estarão mais pessoas a utilizarem os equipamentos. Neste cenário, houve uma tendência de crescimento em todos os meses, exceto em dezembro, em que houve uma diminuição do consumo energético. Finalmente, no cenário 3, diminuindo 20% a taxa de ocupação, há uma diminuição média anual em 5% de consumo de energia elétrica. Novamente, existem dois casos em que isso não acontece, fevereiro e abril, em que há um aumento do consumo. Estes casos contraditórios podem ser devido ao fator de correlação não ser tão elevado como o esperado.

Relativamente às tarifas de energia verificou-se uma descida global dos preços do ano 2013 para o ano de 2014, ou seja, em vez de haver inflação, houve uma variação negativa nos preços. Esta variação é positiva para o cliente, pois poderá usufruir de um menor custo pela energia faturada.

O objetivo deste trabalho consistia em testar o método, proveniente do IPMVP, para fazer previsões da *baseline*, e assim fornecer dados mais exatos para rentabilizar o trabalho das ESE e oferecer maior confiança ao cliente. Os resultados do método aplicado ao Hotel X demonstraram, no entanto, que as correlações poderão não ser a melhor forma de fazer esta análise de valores finais de consumos energéticos. Seria necessário uma desagregação mais detalhada por aparelho, não possível para este caso de estudo dada a indisponibilidade de dados, para que se pudessem melhorar os resultados.

A opção do IPMVP revelou, neste caso específico, não ser suficientemente precisa para previsões de consumo energético. Esta opção poderá adequar-se do ponto de vista técnico para verificar se, no geral, as medidas que foram instaladas são rentáveis do ponto de vista económico e fornecer uma visão mais simples e clara ao cliente do potencial de poupança.

8. Referências

- [1. Eurostat. *Energy, Transport and Environment Indicators 2014.*; 2014.
2. Ferreira J de J. *Economia E Gestão de Energia*. (Editora T, ed.); 1994.
3. IRENA - International Renewable Energy Agency. *Renewable Energy Target Setting.*; 2015.
4. IAPMEI - Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e à Inovação, Geologia L-LN de E e, ADENE - Agência para a Energia. *Estratégia de Eficiência Energética Em PME.*; 2012.
5. Ministério do Ambiente Ordenamento do Território e Energia. *ENERGIA Em Portugal.*; 2015.
6. Bertoldi P, Labanca N. *ESCO Market Report 2013.*; 2014. doi:10.2790/24203.
7. Ascenso R. ESCO (Energy Service Companies) Um novo mercado de serviços energéticos. *Edifícios e Energ.* 2016. <http://www.edificioseenergia.pt/pt/a-revista/artigo/esco-energy-service-companies-um-novo-mercado-de-servicos-energeticos>.
8. California Energy Commission. How to Hire an Energy Services Company. 2000;(January).
9. International Finance Corporation. *IFC Energy Service Company Market Analysis.*; 2011.
10. RNAE - Associação das Agências de Energia e Ambiente. *Contratos de Performance de Energia.*; 2014.
11. Sustainable Energy Authority of Ireland. *A Guide to Energy Performance Contracts and Guarantees.*; 2009.
12. Miguel P, Vasconcelos O. Criação de uma Baseline para um Contrato de Desempenho Energético. 2013.
13. Efficiency Valuation Organization. *Protocolo Internacional de Medição E Verificação Do Desempenho Energético*. Vol 1.; 2009.
14. ERSE. *Estrutura Geral Das Tarifas de Energia.*; 2008.
15. ERSE. *Informação Do Imposto Especial de Consumo Na Fatura de Eletricidade.*; 2012.